

С. А. Кайдалов

ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

Издательство «Радио и связь»



Основана в 1947 году
Выпуск 1214

С.А.Кайдалов

ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

Справочник



Москва
«Радио и связь»
1995

ББК 32.85
К15
УДК 621.383.52(03)

Кайдалов С. А.

К15 Фоточувствительные приборы и их применение: Справочник. — М.: Радио и связь, 1995 — 120 с.: ил. — (Массовая радиобиблиотека; Вып. 1214).

ISBN 5-256-01258-4.

Описаны принцип действия и основные характеристики фоточувствительных приборов (фоторезисторов, фотодиодов, фототранзисторов, фототиристоров, оптопар, оптоэлектронных интегральных микросхем). Рассмотрены основные области применения фоточувствительных приборов, особенности их включения. Представлены схемы устройств с применением фоточувствительных приборов.

Для подготовленных радиолюбителей.

К $\frac{2302030300-036}{046(01)-95}$ Без объявл. **ББК 32.85**

Справочное издание

Массовая радиобиблиотека. Вып. 1214

Кайдалов Сергей Александрович

Фоточувствительные приборы и их применение

Справочник

Редактор *И. Н. Суслова*
Художественный и технический редактор *Т. Г. Родина*
Корректор *Н. В. Козлова*

ИБ № 2671

ЛР № 010164 от 04.01.92.

Сдано в набор 21.04.95 Подписано в печать 5.06.95
Формат 60×84 1/16 Бумага офсетная № 2 Гарнитура литературная Печать высокая
Усл. печ. л. 6,98 Усл. кр.-отт. 7,21 Уч-изд. л. 8,14 Тираж 10 000 экз. (1-й завод 1—5 000 экз.)
Изд. № 23914 Зак. № 45 С-036

Издательство «Радио и связь». 101000, Москва, Почтамт, а/я 693

Типография издательства «Радио и связь». 101000, Москва, Почтамт, а/я 693

ISBN 5-256-01258-4

Предисловие

Человек около 80% информации от окружающей среды воспринимает органом зрения — глазом. Однако при всем совершенстве своего глаза во многих случаях, особенно в условиях создания высокопроизводительных процессов и оборудования, роботизации, широкого внедрения автоматов в промышленности и быту, человек нуждается в «помощнике», который хотя бы частично, но теми или иными свойствами дополнял его природные возможности. Такими помощниками и являются фоточувствительные приборы.

Фоточувствительными называют приборы, реагирующие на оптическое излучение в видимой, инфракрасной и ультрафиолетовой областях спектра. В отличие от других классов электронных приборов они буквально «видят» окружающий мир. Примером «видящих» приборов служат такие, с помощью которых передают изображения, наблюдаемые нами на телевизионном экране.

Технические характеристики фоточувствительных приборов опубликованы в ряде изданий, в которых в основном содержатся сведения о характеристиках приборов и в меньшей степени касаются техники их применения. В предлагаемой вниманию читателей книге сделана попытка более подробного рассмотрения некоторых практических задач применения фотоприборов, в частности схем включения, техники усиления фотоэлектрических сигналов.

Фоточувствительные приборы успешно применяют в технике контроля и регулирования различных физических величин, в том числе геометрических размеров деталей, скорости и ускорения, количественного и качественного анализа параметров твердых, жидких и газообразных сред. Эти приборы весьма удобны в системах автоматического управления станками и механизмами, включения, переключения и выключения различных исполнительных устройств, позволяют легко автоматизировать счет деталей и изделий, сортировку их по размерам, форме, цвету, качеству обработки, химическому составу и т. п. Разнообразные датчики с применением фотоприборов пригодны для создания устройств, сигнализирующих о возникновении пожароопасных ситуаций, запыленности атмосферы, повышающих безопасность труда (например, защищающих оператора от случайного попадания рук в опасную зону) и т. п.

Фоточувствительные приборы находят применение в бытовых радиоэлектронных устройствах, например в системах дистанционного управления телевизорами, магнитофонами, устройствах управления игрушками и моделями. Следует отметить, что применение устройств передачи сигналов на инфракрасных лучах

значительно упрощает системы, построенные традиционными радиотехническими методами.

Несмотря на большие потенциальные возможности практического применения, фотоприборы в радиолюбительской и промышленной аппаратуре используют еще недостаточно широко. Применение этих приборов позволило бы дать ряду как традиционных, так и новых областей радиоэлектроники, автоматики, телемеханики, информатики нестандартные и оригинальные решения. Например, робототехника изначально нуждается в «органах зрения», функции которых могут выполнять только фотоприборы.

Ассортимент фоточувствительных приборов, выпускаемых промышленностью, весьма обширен. Различные их типы полностью перекрывают оптическую область спектра электромагнитного излучения, включая ее ультрафиолетовую и инфракрасную части.

Оптическая область спектра электромагнитных волн включает волны длиной от 0,001 до 1000 мкм. Она состоит из трех частей: ультрафиолетовой (УФ), соответствующей длине волны от 0,001 до 0,38 мкм, видимой 0,38 ... 0,78 мкм и инфракрасной (ИК) 0,78 ... 1000 мкм. Рабочий интервал длин волн большинства фотоприборов 0,2 ... 20 мкм. Из всего разнообразия приборов в книге рассмотрены фоторезисторы, фотодиоды, фототранзисторы и фототиристоры — приборы, наиболее доступные и применяемые в радиолюбительской практике. Внимание уделено их параметрам и особенностям применения в оптопарах, представляющих собой широкий класс устройств, принцип действия которых основан на совместном применении и фотоприборов и источников оптического излучения. Показано, что фотоприборы в значительной мере определяют параметры и возможности оптопар. Некоторое внимание уделено развивающемуся в последнее время новому классу приборов — оптоэлектронным интегральным микросхемам.

В книге не рассмотрены характеристики и параметры приборов, чувствительных в коротковолновой УФ и дальней ИК области спектра, матричные фотоприемные устройства, в том числе приборы с инжекцией и переносом заряда (ПЗИ и ПЗС), передающие телевизионные трубки, фотоэлектронные умножители, фотоэлементы и электронно-оптические преобразователи, поскольку эти приборы в радиолюбительских конструкциях пока еще находят весьма ограниченное применение.

1. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРАХ

Фоточувствительные приборы являются важнейшими элементами любого оптико-электронного устройства. Именно они связывают оптическую и радиоэлектронную системы в аппаратуре. Поэтому фотоприборы выбираются с учетом требований ко всему изделию в целом. Их характеристики должны отвечать наилучшему согласованию в цикле приема оптического излучения (рис. 1.1) и обработки электрических сигналов.

При падении на фоточувствительную поверхность прибора оптического излучения полезного сигнала оно частично теряется (отражается, рассеивается), а остальная часть поглощается этой поверхностью. При поглощении оптического излучения в фоточувствительном полупроводниковом материале возникают носители зарядов — электроны и дырки, обусловливающие избыточную электропроводность. Электропроводность полупроводникового материала, возникающую при его оптическом облучении, называют фотопроводимостью. Степень фотопроводимости зависит от коэффициента поглощения фотонов материалом, определяющего, в частности, скорость генерации носителей, а также от квантового выхода фотоионизации — числа электронно-дырочных пар, образуемых под воздействием одного кванта излучения.

Фотопроводимость возникает в случае, если энергия фотонов превышает некоторое пороговое значение. При собственном поглощении пороговую энергию определяет ширина запрещенной зоны, а при примесном — энергия активации соответствующего уровня примесного центра.

Основным структурным элементом большинства полупроводниковых фотоприборов служит p-n переход. При облучении перехода неравновесные носители возникают как в p-, так и в n-области. Концентрация основных равновесных носителей при облучении практически не изменяется, а концентрация неосновных — существенно увеличивается. При этом если излучение поглощается в p-области, то генерируемые электроны, находящиеся на расстоянии от p-n перехода, меньшем длины диффузии, достигают перехода и под воздействием потенциального барьера перехода переходят в область с n-проводимостью. То же происходит с дырками, генерируемыми в n-области. Неосновные носители, генерируемые в области объемного заряда, перехода, перемещаются в область с соответствующим типом проводимости. В результате разделения неравновесных

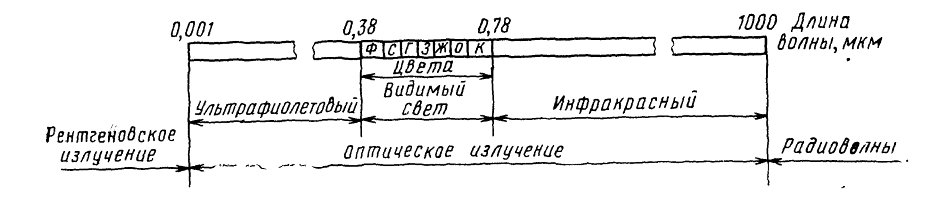


Рис. 1.1

носителей заряда высота потенциального барьера на границе p-n перехода понижается.

Свойства фотоприборов наиболее полно могут быть описаны системой характеристик и параметров, выражающих зависимости тока или напряжения сигнала и шума на выходе от различных факторов: мощности, спектрального состава и частоты модуляции возбуждающего излучения, температуры окружающей среды, напряжения питания, наличия фоновых помех и др.

1.1. Основные характеристики и параметры фоточувствительных приборов

Спектральная характеристика чувствительности отображает реакцию фотоприбора на воздействие излучения с различной длиной волны. Эта характеристика определяет спектральную область применения прибора, его спектральную и интегральную чувствительность.

Энергетическая (световая) характеристика отображает зависимость фотоответа прибора от интенсивности возбуждающего потока излучения (ампер-ваттная, вольт-ваттная, люкс-амперная характеристика). Энергетической характеристикой называют также зависимость интегральной или спектральной чувствительности прибора от интенсивности облучения.

Пороговые характеристики показывают способность фотоприбора регистрировать излучение малой интенсивности. Эта способность в основном зависит от уровня собственных шумов прибора — флуктуаций тока, протекающего через него в отсутствие облучения или при немодулированном световом потоке.

Вольт-амперная характеристика отображает зависимость тока фотоприемника от приложенного к нему напряжения; световой (общий) ток $I = I_т + I_ф$, где $I_т$ — ток в отсутствие освещения (темновой ток), $I_ф$ — фототок.

Частотные характеристики описывают зависимость чувствительности от частоты модуляции излучения или длительности импульсов и характеризуют инерционность прибора.

Температурные характеристики определяют зависимость параметров прибора (темновой ток, темновое сопротивление, чувствительность и т. п.) от температуры окружающей среды. Рабочий температурный интервал указывают в паспорте прибора. При этом указывают значения основных параметров в крайних точках интервала при рабочем напряжении прибора.

Рабочее напряжение U_p — постоянное напряжение, приложенное к прибору, при котором обеспечены номинальные параметры при длительной работе в заданных эксплуатационных условиях. Обычно его устанавливают с запасом по отношению к пробивному напряжению.

Максимально допустимое напряжение U_{max} — значение постоянного напряжения, при котором отклонения параметров прибора не превышают установленных пределов.

Мощность рассеивания — мощность, выделяемая при прохождении фототока; она определяет разогрев прибора. Превышение максимально допустимой мощности рассеивания $P_{доп}$ приводит к повреждению прибора. Значение $P_{доп}$ зависит от интенсивности отведения тепла.

Темновое сопротивление $R_т$ — сопротивление прибора в отсутствие падающего на него излучения в пределах его спектральной чувствительности.

Дифференциальное сопротивление R_0 — отношение малых приращений напряжения на приборе и тока через него.

Темновой ток $I_т$ — ток, проходящий через прибор при указанном напряжении в отсутствие потока излучения в пределах спектральной чувствительности.

Коротковолновая (длинноволновая) граница спектральной чувствительности — наименьшая (наибольшая) длина волны монохроматического излучения, при которой монохроматическая чувствительность прибора равна 0,1 от ее максимального значения.

Динамический диапазон линейности (в децибелах) характеризует область значений лучистого потока Ф (от Φ_{min} до Φ_{max}, в которой энергетическая (световая) характеристика линейна:

$$\Delta = 10 \lg \Phi_{max}/\Phi_{min}.$$

Максимум спектральной характеристики чувствительности — длина волны, соответствующая максимуму чувствительности прибора.

Токовая чувствительность S_I (А/лм или А/Вт) определяет значение фототока, создаваемого единичным потоком излучения. Иногда вместо потока излучения, падающего на прибор, задают плотность падающего потока, измеряемую в Вт/см^2.

Вольтовая чувствительность S_U характеризует значение сигнала в вольтах, отнесенное к единице падающего потока излучения.

Токовую и вольтовую чувствительность называют интегральной, если она характеризует чувствительность к интегральному потоку излучения и монохроматической в случае монохроматического излучения.

Интегральную токовую и вольтовую чувствительности вычисляют по формулам:

$$S_I = (I - I_т)/\Phi, \quad S_U = (U - U_т)/\Phi,$$

где I, U, $I_т$, $U_т$ — общие и темновые ток и напряжение прибора соответственно.

Удельная обнаружительная способность D* (Вт$^{-1}$·Гц$^{1/2}$·см) характеризует возможность использования прибора для обнаружения предельно малых сигналов

$$D^* = U_ф \sqrt{\Delta f S}/U_ш \Phi,$$

где $U_ф$ — напряжение фотосигнала, В; $U_ш$ — напряжение шума прибора, В; Δf — частотная полоса пропускания, Гц; S — площадь чувствительной площадки, см²;

Пороговая чувствительность $Ф_{пор}$ определяет уровень мощности светового потока, при котором сигнал равен шуму. Пороговая чувствительность и обнаружительная способность связаны соотношением

$$P_{пор} = \sqrt{S}/D^*.$$

Инерционность прибора характеризуют постоянные времени нарастания $\tau_н$ и спада $\tau_{сп}$ фотоотклика при импульсе излучения. Они определяют предельные значения рабочей частоты модуляции светового потока, при которых еще не заметно уменьшение фотоотклика. Обычно $\tau_н < \tau_{сп}$. При синусоидальной модуляции светового потока быстродействие приборов характеризуют граничной частотой, на которой фотоотклик уменьшается до уровня 0,7 стационарного значения.

1.2. Фоторезисторы

Фоторезистор — фотоэлектрический полупроводниковый приемник излучения, принцип действия которого основан на эффекте фотопроводимости. В отсутствие облучения ток через прибор (темновой ток) обычно не превышает нескольких микроампер.

Зависимость тока I в цепи фоторезистора от светового потока Ф при не слишком малой освещенности нелинейна:

$$I \approx cФ^{1/2} + I_т,$$

где c — коэффициент пропорциональности; $I_т$ — темновой ток.

Нелинейность этой зависимости считают недостатком фоторезисторов. Им свойственна заметная инерционность, обусловленная значительным временем жизни неравновесных носителей заряда. Например, у приборов на основе сернистого кадмия уменьшение чувствительности заметно уже на частоте около 100 Гц, а на основе сернистого свинца — более 1 кГц. Это означает, что фоторезисторы не могут работать в устройствах с быстродействием выше 10^{-4} с.

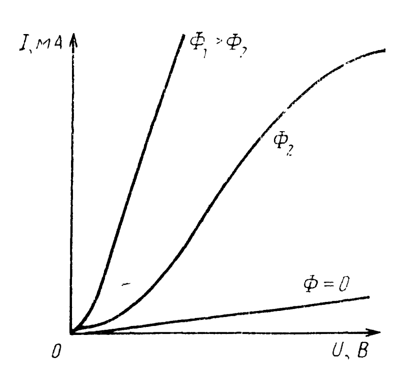


Рис. 1.2

Параметром семейства вольт-амперных характеристик (ВАХ) фоторезистора (рис. 1.2) служит световой поток. При малом напряжении ВАХ по форме близка к квадратичной. При большом напряжении и заданном световом потоке ВАХ практически линейна, но в ограниченной области, Угол наклона ВАХ к оси напряжения увеличивается пропорционально световому потоку, пока не произойдет существенного изменения времени жизни носителей или разогрева фоторезистора, влияющих на фотопроводимость прибора.

На рис. 1.3 показаны спектральные характеристики фоторезисторов, нормирован-

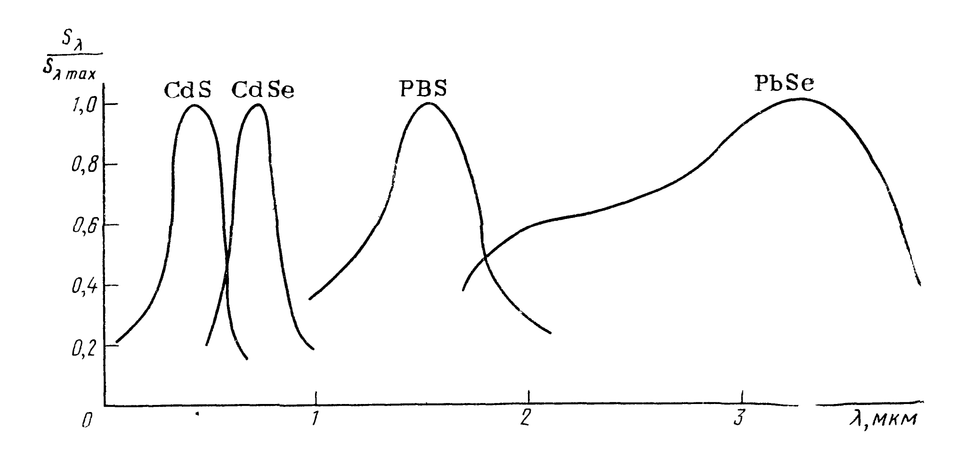


Рис. 1.3

ные относительно максимального значения чувствительности $S_{\lambda max}$ на длине волны λ_{max}. В видимой области оптического диапазона в качестве материала чувствительного элемента фоторезисторов используют сульфид кадмия CdS и селенид кадмия CdSe На длине волны 1 .. 5 мкм (ИК область) применяют сульфид и селенид свинца (PвS и PвSe).

Световая характеристика фоторезистора $I_ф = f(\Phi)$ (рис. 1.4, а) линейна при небольшом световом потоке. При значениях светового потока $\Phi > \Phi_{max}$ линейность характеристики нарушается, так как увеличивается концентрация неравновесных носителей и соответственно вероятность их рекомбинации, при этом время жизни носителей уменьшается.

Зависимость чувствительности от фоновой освещенности $S_I = \varphi(E_{ф0})$ — фоновая характеристика показана на рис. 1 4, б Фоновая освещенность представляет собой помеху полезному оптическому сигналу. С ее увеличением проводимость фоторезистора тоже увеличивается, а чувствительность к сигналу снижается.

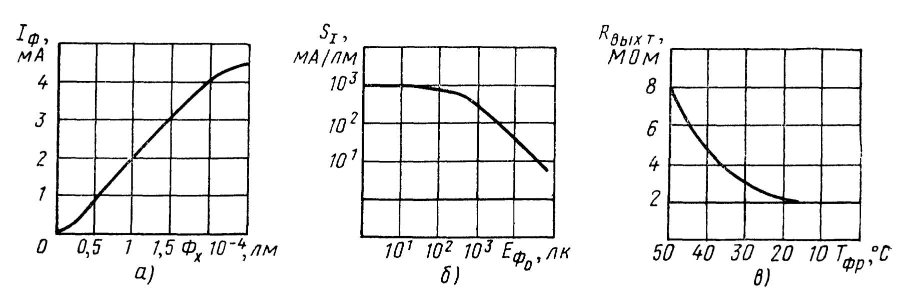


Рис. 1.4

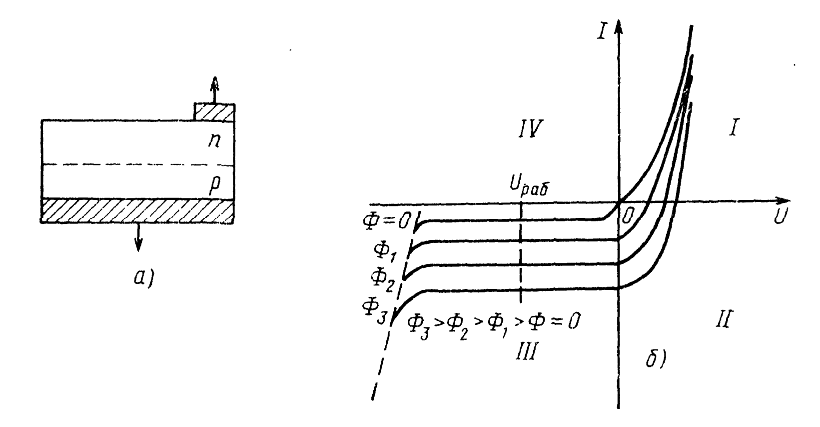


Рис. 1.5

Зависимость темнового выходного сопротивления от температуры фоторезистора $Т_{фр}$ показана на рис. 1.4, в. Повышение температуры увеличивает число носителей, что приводит к уменьшению темнового сопротивления.

1.3. Фотодиоды

Фотодиод — фоточувствительный полупроводниковый диод с p-n переходом (между двумя типами полупроводника или между полупроводником и металлом). При освещении p-n перехода в нем возникают электронно-дырочные пары. Направление тока этих носителей совпадает с направлением обратного тока перехода.

Структура перехода фотодиода показана на рис. 1.5, а, а семейство вольт-*амперных характеристик — на рис. 1.5, б.*

Фотодиоды используют в фотодиодном и фотогальваническом режимах. В первом диод смещается в обратном направлении и фототок является функцией освещенности. Во втором режиме прибор работает в режиме генерации фотоЭДС. По сравнению с фотогальваническим фотодиодный режим обладает рядом достоинств: пониженной инерционностью, повышенной чувствительностью к длинноволновой части оптического спектра, широким динамическим диапазоном линейности характеристик. Основной недостаток этого режима — наличие шумового тока, протекающего через нагрузку. В ряде случаев при необходимости обеспечения низкого уровня шума фотоприемника фотогальванический режим может оказаться более выгодным, чем фотодиодный.

Вольт-амперные характеристики фотодиода в квадранте I (см рис. 1.5, б) соответствуют включению в прямом направлении. Квадрант IV соответствует случаю работы диода в фотогальваническом режиме. По оси напряжения можно определить фотоЭДС при различной интенсивности принимаемого светового потока Ф и нулевом сопротивлении нагрузки, а по оси тока — фототок при раз-

личных значениях Ф и нулевом сопротивлении нагрузки. Характеристики в квадранте III соответствуют включению прибора в фотодиодном режиме. Напряжение $U_{пр}$ — напряжение электрического пробоя фотодиода. Напряжение $U_р$ — рабочее — указывают в паспорте.

Насыщение германиевого фотодиода в фотодиодном режиме происходит при интенсивности облучения в тысячи — десятки тысяч люкс. Световые (энергетические) характеристики кремниевых диодов линейны до интенсивности, превышающей сотни тысяч люкс. Насыщение прибора в фотогальваническом режиме наступает при меньших уровнях освещенности, чем в фотодиодном.

Вольт-амперную характеристику при отсутствии облучения называют темновой. Значение темнового тока $I_т$ при заданной температуре окружающей среды и рабочем напряжении указывают в паспорте прибора. Параметры кремниевых и германиевых фотодиодов заметно зависят от температуры окружающей среды. С повышением ее на каждые 10° темновой ток германиевых приборов увеличивается в 2, а кремниевых в 2,5 раза. При этом чувствительность и обнаружительная способность уменьшаются, уровень собственных шумов увеличивается, а максимум спектральной характеристики сдвигается в сторону более коротких волн. Понижение температуры приводит к противоположным изменениям.

Основные параметры фотодиодов — токовая чувствительность S_I, постоянные времени нарастания $\tau_н$ и спада $\tau_{сп}$ фототока (или граничная частота модуляции светового потока), рабочая длина волны или рабочий интервал длины волны. Кроме того, приборы характеризуют номинальным рабочим напряжением $U_{обр.ном}$, темновым током $I_{обр.тм}$ и максимально допустимым обратным напряжением $U_{обр\,max}$.

Статическую интегральную токовую чувствительность при монохроматическом световом потоке или мощности излучения определяют отношения $S_{I_Ф} = I_ф/Ф$ (мА · лм$^{-1}$) или $S_{I_P} = I_ф/P$ (мА · Вт$^{-1}$), где $I_ф$ — фототок; Ф — световой поток, Р — мощность излучения.

При работе прибора в фотодиодном режиме удобно использовать понятие интегральной вольтовой чувствительности:

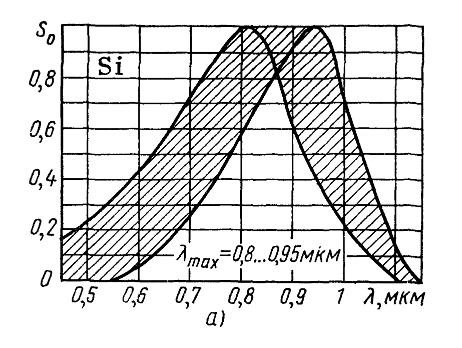
$$S_{U_Ф} = \Delta U_{вых}/Ф = S_{I_Ф} R_н (В \cdot лм^{-1}),$$

или $$S_{U_P} = \Delta U_{вых}/P = S_{I_P} R_н (В \cdot Вт^{-1}),$$

где $\Delta U_{вых}$ — изменение выходного напряжения; $R_н$ — сопротивление нагрузки.

На рис. 1.6 показаны типовые спектральные характеристики кремниевых и германиевых фотодиодов, нормированные относительно максимального значения чувствительности на длине волны λ_{max}. Как видно из рис. 1.6, максимум чувствительности германиевых диодов сдвинут в сторону более длинных волн.

Постоянные времени нарастания $\tau_н$ и спада $\tau_{сп}$ фототока — интервалы времени, в течение которых фототок изменяется в е раз от установившегося значения при Ф=const после включения или выключения светового потока. Эти параметры характеризуют инерционность приборов. Быстродействие определяется граничной частотой $f_{гр}$, соответствующей максимальной частоте модуляции светового потока, на которой статическая чувствительность уменьшается до уровня 0,707 от чувствительности на низкой частоте модуляции.



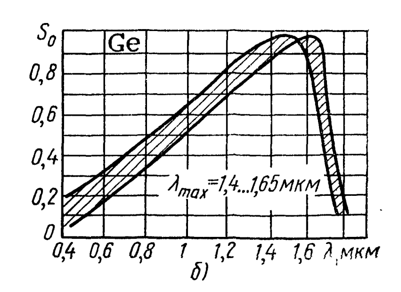


Рис. 1.6

Фотодиоды — малоинерционные фотоприемники. Инерционность их зависит от временных характеристик процесса фотогенерации носителей, условий разделения электронно-дырочных пар, емкости p-n перехода, а также сопротивления нагрузки. Особую группу фотодиодов, отличающихся очень малой инерционностью, представляют p-i-n и лавинные фотодиоды.

В ряде случаев от фотоприбора требуется высокое быстродействие (несколько наносекунд и менее). Такие приборы необходимы в оптических линиях связи, системах воспроизведения звука с компакт-дисков и др. В подобных устройствах применяют фотодиоды структуры p-i-n и лавинные фотодиоды. Структурная схема p-i-n фотодиода показана на рис. 1.7, а. На подложке с проводимостью n^+ сформирован слаболегированный i-слой и слой с проводимостью p^+ толщиной до 0,3 мкм. При подаче обратного смещения обедненным оказывается весь i-слой. В результате емкость перехода уменьшается, расширяется

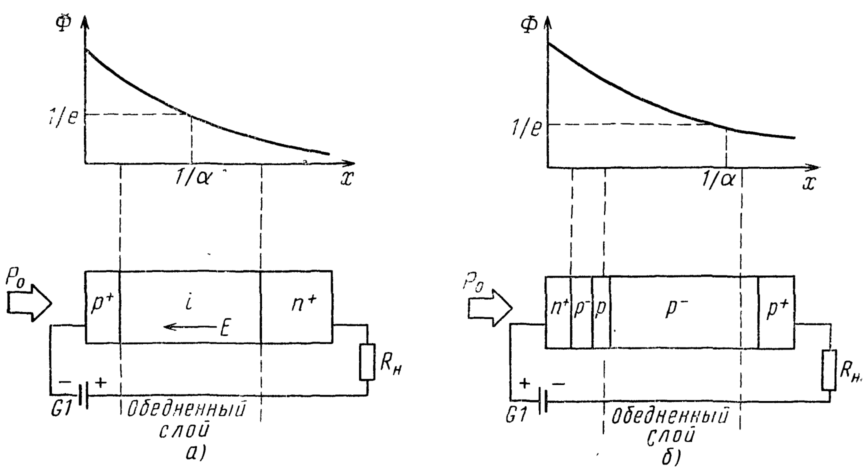


Рис. 1.7

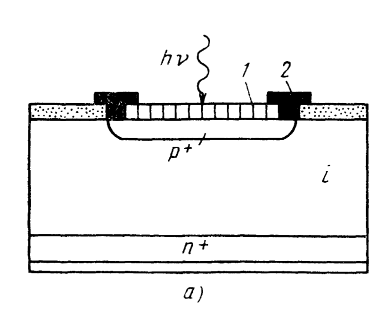
область поглощения падающего излучения и повышается чувствительность прибора. Поглощаемое излучение в структуре затухает по экспоненте (см. рис. 1.7) в зависимости от коэффициента поглощения и вызывает появление фотовозбужденных носителей. Электрическое поле обедненного слоя (напряженность поля больше или равна 10^3 В/см) ускоряет их до скорости насыщения дрейфа (около 10^7 см/с). Эту область называют пространством дрейфа.

За пределами обедненного слоя движение носителей носит диффузионный характер с относительно низкой скоростью — примерно 10^4 см/с. Это обстоятельство ухудшает быстродействие. Для его повышения необходимо сконцентрировать поглощение излучения в обедненном слое. С этой целью слой p^+ делают очень тонким, а толщину слоя i — большей длины поглощения излучения ($1/\alpha$). Длина поглощения для кремния на длине волны 0,8 мкм равна примерно 10 ... 20 мкм и рабочее напряжение, при котором обедненный слой имеет требуемую ширину, не превышает 10 ... 20 В.

В лавинном фотодиоде (см. рис. 1.7, б) излучение также поглощается в обедненном слое. Для создания ударной ионизации фотовозбужденными носителями рядом с p-n переходом формируют область с высокой напряженностью электрического поля (более 10^5 В/см), в которой происходит лавинное умножение носителей. Коэффициент умножения при напряжении смещения, близком к напряжению пробоя, может достигать 1000. Однако это значение зависит и от температуры. Температурный коэффициент изменения напряжения пробоя до 0,2%/°С. Проектируя цепь смещения лавинного фотодиода, необходимо предусмотреть меры, устраняющие влияние этого фактора.

На рис. 1.8, а и б схематически показана конструкция p-i-n и лавинного фотодиода соответственно. Для уменьшения отражения света от поверхности диода ее покрывают пленкой 1. По периметру рабочей поверхности формируют защитное кольцо 2, позволяющее повышать напряжение пробоя. Оптимально выбранные размеры элементов прибора дают возможность получать весьма хорошие параметры. При напряжении 100 ... 150 В быстродействие лавинного фотодиода оказывается равным примерно 0,3 нс.

Быстродействие ограничено временем пробега фотовозбужденных носителей и постоянной времени $\tau = RC$, где R — сопротивление нагрузки ($R_н$), C — емкость



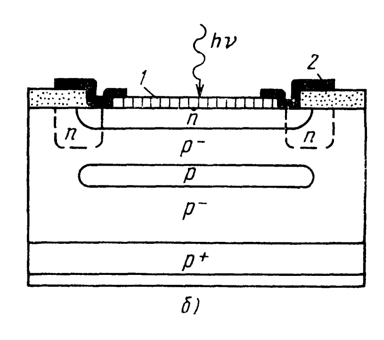


Рис. 1.8

диода. Время пробега носителей при скорости 10^7 см/с и ширине обедненного слоя 100 мкм — примерно 1 нс. При меньшей ширине обедненного слоя может быть достигнута граничная частота до нескольких гигагерц. Емкость диода — 1 ... 2 пФ (сумма паразитной емкости корпуска и емкости перехода). Если сопротивление нагрузки принять равным 50 Ом, то постоянная времени $\tau=0{,}05$ ... ... 0,1 нс.

Темновой ток (протекающий через диод независимо от фототока) представляет собой сумму обратного тока и тока поверхностной утечки. Он вызывает дробовой шум. У кремниевых фотодиодов темновой ток мал (около 10^{-12} А), поэтому и уровень шума относительно невысок. Шумовые характеристики германиевых приборов заметно хуже.

Если мощность падающего излучения равна $P_0/h\gamma$, то соответствующее число падающих фотонов будет $P_0/h\gamma$ и фототок

$$I_ф=\eta\frac{c}{h\nu}P_0,$$

где η — квантовый выход, который, в свою очередь, определен соотношением

$$\eta=(1-R)(1-e^{-\alpha L_a}),$$

где R — коэффициент отражения потока от рабочей поверхности прибора; L_a — ширина области поглощения света. На рис. 1.9 представлена зависимость квантового выхода от длины волны излучения для германия и кремния. Границу чувствительности в области длинных волн определяет ширина запрещенной зоны материала, а падение чувствительности в области коротких волн — уменьшение длины поглощения, поглощения излучения вблизи поверхности и поверхностная рекомбинация фотовозбужденных носителей.

1.4. Фототранзисторы

Фототранзистор — фоточувствительный полупроводниковый приемник излучения, по структуре подобный транзистору (биполярному, полевому) и обеспечивающий внутреннее усиление сигнала.

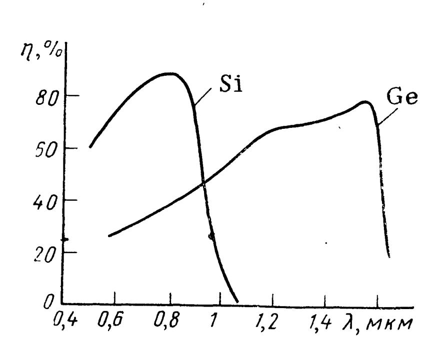
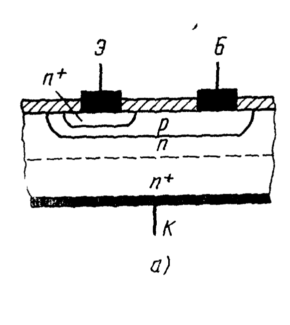


Рис. 1.9

Структура фототранзистора показана на рис. 1.10, а. В корпусе прибора предусмотрено прозрачное окно, через которое световой поток попадает на одну из областей транзистора. Напряжение питания подводят так, чтобы коллекторный переход был закрыт, а эмиттерный — открыт. База может быть отключенной.

При освещении базы в ней возникают электронно-дырочные пары. Так же как в фотодиоде, пары, достигшие в результате диффузии коллекторного пе-



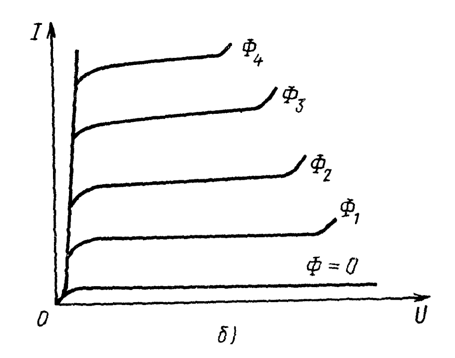


Рис. 1.10

рехода, разделяются полем перехода, дырки в p-n-p) транзисторе движутся в коллектор, при этом его ток увеличивается; электроны остаются в базе, понижая ее потенциал. При этом на эмиттерном переходе создается дополнительное прямое напряжение, вызывающее дополнительную инжекцию дырок из эмиттера в базу и соответствующее увеличение тока коллектора. Характеристики фототранзистора показаны на рис. 1.10, б.

При отключенной базе общий ток коллектора представляет собой сумму фототока базы $I_{Бф}$ и тока $I_{К\ инж}$ инжектированных эмиттером носителей, прошедших коллекторный переход. Коэффициент усиления фототока $M=(I_{Бф}+ + n^+_{К\ инж}/I_{Бф}=h_{21Э}+1$ (если $R_н \to 0$), где $h_{21Э}$ — статический коэффициент передачи тока транзистора в схеме с общим эмиттером. При этом на сопротивлении нагрузки создается падение напряжения $\Delta U_н \approx (h_{21Э}+1) I_{Бф} R_н$. Из этого соотношения видно, что фототранзистор можно представить в виде эквивалентного фотодиода, включенного параллельно коллекторному переходу транзистора, обладающего только усилительными свойствами. Таким образом, транзистор повышает чувствительность эквивалентного фотодиода в $(h_{21Э}+1)$ раз.

Известны два вида (металл — диэлектрик — полупроводник): структуры МДП со встроенным и инверсионным (индуцируемым) каналом, показанные на (рис. 1.11). Основой транзистора со встроенным каналом служит подложка из материала проводимости p, в которой сформированы канал n и две области n^+, выполняющие функции токосъемов канала. Одна из них — исток, другая — сток. Затем структуру покрывают слоем диэлектрика, в котором над токосъемками вытравливают окна и наносят в них металлическую контактную пленку. Над каналом на диэлектрик наносят металлический электрод — затвор.

При подаче на затвор положительного напряжения канал обогащается электронами и его сопротивление уменьшается, при подаче отрицательного напряжения n-канал обедняется электронами и сопротивление его растет. Соответственно изменяется ток между истоком и стоком.

В структуру второго вида транзистора МДП (рис. 1.11, б) канал технологически не встраивают. При нулевом напряжении на затворе $U_З=0$ токосъемы из материала проводимости n^+ разъединены областью с проводимостью p и ток

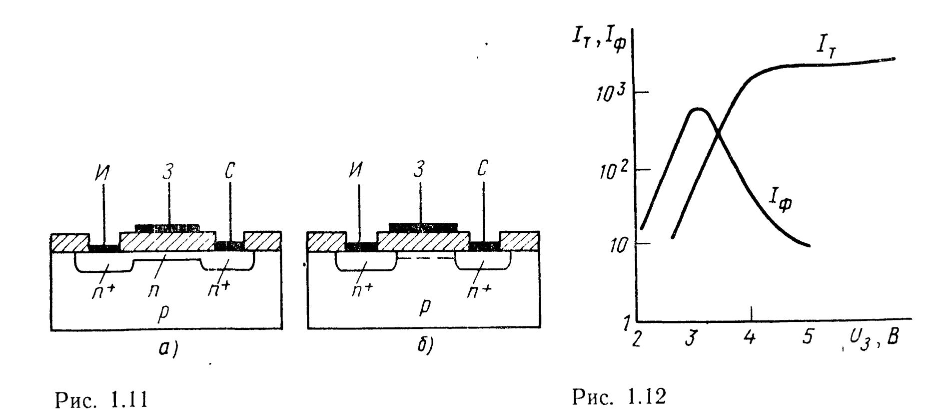


Рис. 1.11 Рис. 1.12

между ними не протекает. При $U_З > 0$ концентрация дырок у поверхности уменьшается и электронов в приповерхностном слое может стать больше, чем дырок. Полупроводник приобретает проводимость, т. е. образуется (индуцируется) проводящий канал проводимости n. В отличие от транзистора со встроенным каналом такой транзистор работает только при одной полярности напряжения на затворе.

Освещение канала также приводит к увеличению его проводимости. Характер зависимости темнового тока и фототока от напряжения на затворе иллюстрирует рис. 1.12. Темновой ток увеличивается по мере увеличения $U_З$, а затем происходит насыщение. Зависимость $I_ф = f(U_З)$ имеет максимум при некотором напряжении на затворе.

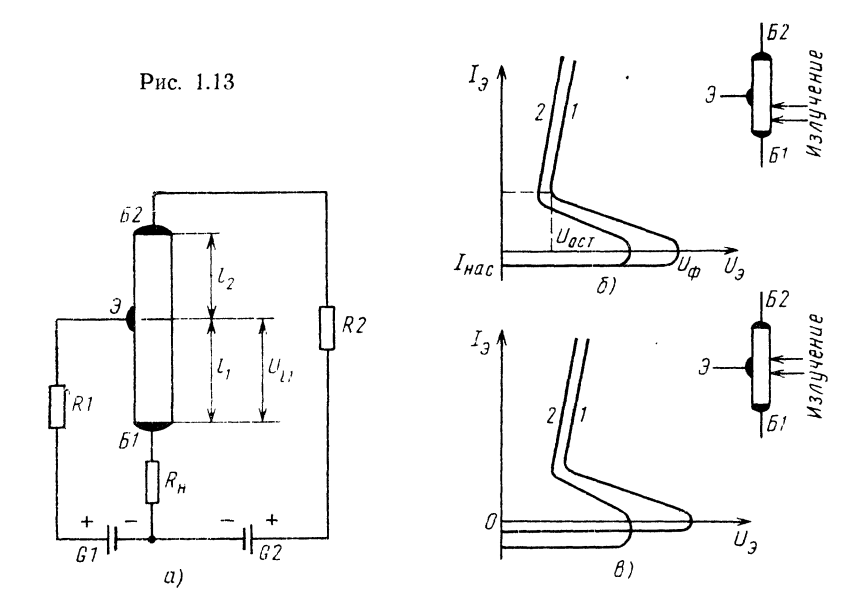
Однопереходный фототранзистор в простейшем варианте представляет собой стержень из полупроводникового материала с металлическими контактами на противоположных концах (выводы Б1 и Б2) и p-n перехода между ними с выводом эмиттера Э (рис. 1.13). P-n переход включают в прямом направлении.

Будем полагать эмиттер точечным, тогда при подаче на базовые выводы напряжения $U_{Б1Б2}$ падение напряжения на нижней части базы длиной l_1 будет равно

$$U_{l1} = U_{Б1Б2}\, l_1/(l_1 + l_2).$$

Напряжение на переходе $U_{p-n} = U_Э = U_{l1}$. При увеличении $U_Э$ в интервале $0 < U_Э < U_{l1}$ напряжение $U_{p-n} < 0$ и через переход протекает небольшой обратный ток $I_{нас}$. Если $U_Э = U_{l1}$, напряжение на переходе равно нулю, однако это состояние в силу различных флуктуаций неустойчиво. Например, сопротивление базы Б1 может оказаться несколько меньшим своего стационарного значения. При этом U_{l1} также уменьшается. В результате $U_Э$ окажется бóльшим U_{l1} эмиттерный переход смещается в прямом направлении и будет инжектировать в базу дырки, которые под действием поля, создаваемого напряжением $U_{Б1Б2}$, будут перемещаться в нижнюю часть базы, сопротивление которой еще более уменьшится. Падение напряжения на нижней части базы приведет к еще боль-

Рис. 1.13



шему увеличению напряжения на переходе и т. д. Процесс носит лавинообразный характер. Ток через переход увеличивается, падение напряжения на последовательно включенных участках перехода и нижней части базы уменьшается (нагрузочное сопротивление во входной цепи должно быть больше входного сопротивления однопереходного фототранзистора). Вольт-амперные характеристики прибора имеет S-образный вид (рис. 1.13, б, в).

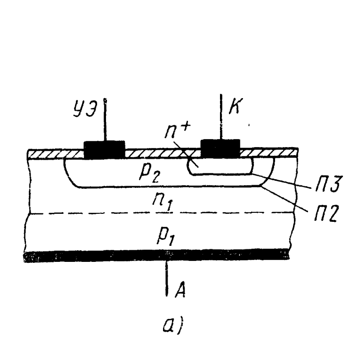
При облучении нижней части базы концентрация носителей заряда в ней растет и напряжение срыва уменьшается (рис. 1.13, б). Генерируемые под воздействием света неосновные носители ускоряются электрическим полем в направлении базы Б1, и обратный ток эмиттера не изменяется.

При облучении части базы, расположенной напротив эмиттера при обратном его включении, часть неравновесных неосновных носителей переходит к контакту базы Б1, а часть попадает в область объемного заряда p-n перехода и увеличивает его обратный ток (рис. 1.13, в).

Для изготовления однопереходных фототранзисторов можно использовать германий или кремний, а также широкозонные полупроводниковые материалы. Эти приборы используют в качестве аналоговых и ключевых приемников в видимой и ближней ИК области спектра, а также в оптопарах (узлы запуска тиристоров, мультивибраторы, генераторы колебаний сложной формы и т. п.).

1.5. Фототиристоры

Фототиристор — фотоэлектрический полупроводниковый приемник излучения, содержащий структуру тиристора, которая обеспечивает переключающие свойства прибора. Прибор представляет собой четырехслойную p-n-p-n



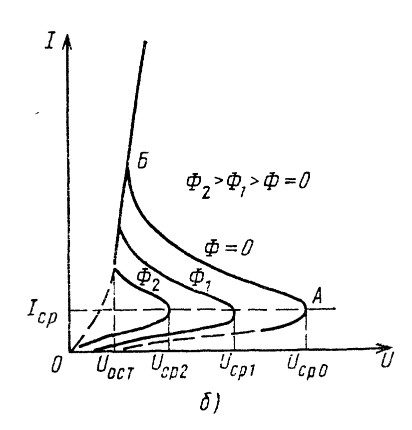


Рис. 1.14

структуру (рис. 1.14, а) с двумя p-n переходами, один из которых смещен в прямом, а другой — в обратном направлении. При таком включении переходов фототиристор можно представить в виде двух последовательно включенных транзисторов p-n-p и n-p-n с положительной обратной связью через общий коллектор. Сильная положительная обратная связь является причиной появления на ВАХ фототиристора участка с отрицательным динамическим сопротивлением (рис. 1.14, б).

Тиристор может находиться в одном из двух устойчивых состояний, соответствующих положению рабочей точки либо ниже прямой $I_{ср}$ (фототиристор закрыт), либо выше ее (открыт). Переход из одного устойчивого состояния в другое происходит скачком (на отрицательном участке АБ состояние прибора неустойчиво), когда напряжение на управляющем электроде или освещенность превышают некоторое пороговое значение. При этом переходе сопротивление фототиристора и ток через него изменяются в $10^6 \dots 10^7$ раз: примерно от 10^8 Ом (ток около 10^{-6} А) в закрытом состоянии до 10^{-1} Ом (ток $10^{-1} \dots 10^0$ А) — в открытом. Таким образом, фототиристор имеет очень высокий коэффициент усиления по току и по мощности.

Свет в фототиристоре поглощается в обеих базах: с ростом освещенности увеличиваются токи эмиттеров. С ростом освещенности напряжение срыва уменьшается.

2. ПРИМЕНЕНИЕ ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

2.1. Включение фоточувствительных приборов в схемах усилителей

Электрические сигналы на выходе фотоприборов (ток и напряжение), как правило, весьма слабы для того, чтобы их можно было использовать для непосредственного управления исполнительными механизмами, например реле, двигателями и т. п. Поэтому фотоприборы применяют совместно с усилителями.

Простота практического применения транзисторных усилителей обусловила широкое распространение их в различных оптико-электронных устройствах.

Схемы включения фоторезисторов приведены на рис. 2.1. Особенно удобны дифференциальные и мостовые схемы, так как в них легко компенсировать изменения фототока, вызванные температурной нестабильностью и временным дрейфом сопротивления фоторезисторов.

На рис. 2.1, а представлена дифференциальная схема включения двух фоторезисторов. Если в статическом режиме (в отсутствие оптических сигналов) значения сопротивления фоторезисторов одинаковы, то выходной ток $I_н=0$. Полезный сигнал в цепи нагрузки $R_н$ появляется, если световые потоки, облучаю-

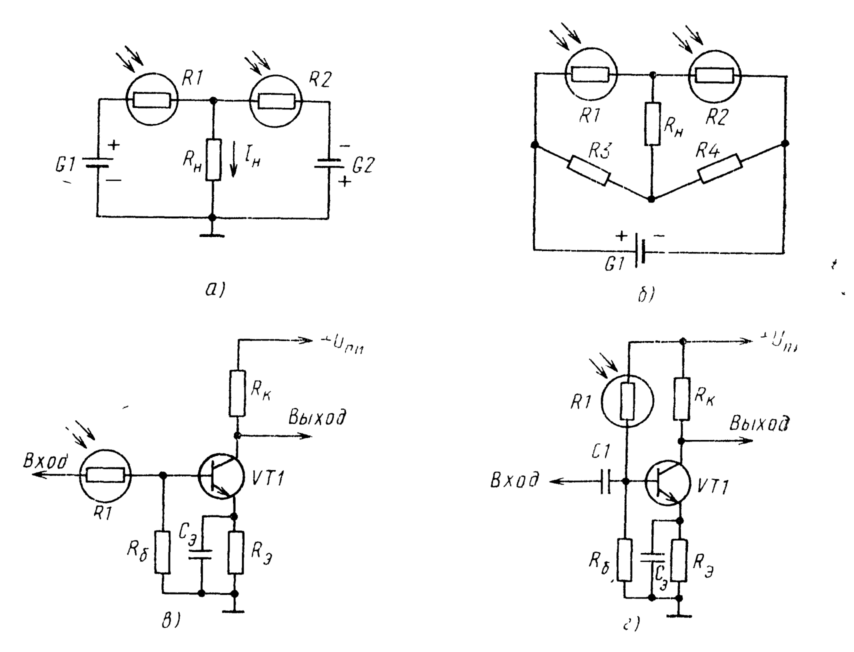


Рис 2 1

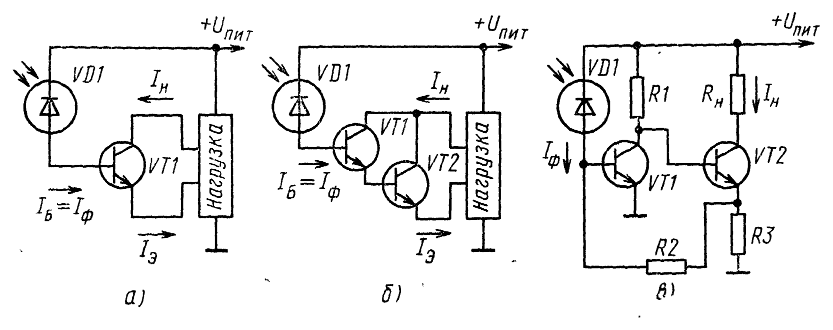


Рис. 2.2

щие фоторезисторы, модулированы в противофазе. Используют и другой вариант оптического управления узлом: если существенно изменяется освещенность одного фоторезистора, то другой освещают стабильным световым потоком, т. е. второй играет роль образцового или вспомогательного (компенсирующего).

На рис. 2.1, б показана мостовая схема включения фоторезисторов. Выходной ток $I_н$ протекает в диагонали моста, в которую включен нагрузочный резистор $R_н$.

Мост сбалансирован, если $R1/R2=R4/R3$; при этом $I_н=0$. Если тепловые и временные (за счет дрейфа) изменения сопротивления фоторезисторов одинаковы, то баланс моста не нарушается.

С помощью фоторезистора можно управлять режимом электронных и других устройств. Если его включить во входную цепь, можно изменять коэффициент усиления транзисторной ступени (рис. 2.1, в). Фоторезистор можно включать в цепь базового смещения транзистора (рис. 2.1, г).

Варианты схемы включения фотодиодов показаны на рис. 2.2.. Фотодиоды используют и как самостоятельный прибор в составе оптопары.

Фототок $I_ф$, протекающий в цепи базы транзистора (рис. 2.2, а), усиливается и ток в цепи коллектора $I_К=h_{21Э}I_ф$, где $h_{21Э}$ — коэффициент передачи тока транзистора в схеме с общей базой. Ток в цепи эмиттера $I_Э=(h_{21Э}+1)I_ф$. В устройстве с составным транзистором (рис. 2.2, б) коэффициент усиления тока $\beta_{сост}$ приблизительно равен произведению коэффициентов передачи тока транзисторов VT1 и VT2: $\beta_{сост}\approx h_{21Э1}h_{21Э2}$ и достигает нескольких тысяч. Однако коэффициент передачи транзисторов тока имеет значительный разброс, поэтому значение $\beta_{сост}$ нестабильно и такую схему целесообразно использовать в устройстве, где транзисторы должны входить в насыщение при освещении фотодиода, т. е. в ключевых устройствах с оптическим управлением. Фототок в ключевом режиме должен удовлетворять неравенству $I_{ф.кл}\geqslant U_{пит}/h_{21Э}R_н$, где $R_н$ — сопротивление нагрузки. В этом случае переключение происходит при малом значении фототока (даже при малом сопротивлении нагрузки).

Если необходимо линейное усиление фототока, следует применять транзисторные усилители со стабильным коэффициентом передачи тока, например, по схеме, показанной на рис. 2.2, в. Усилитель на транзисторах VT1 и VT2 охвачен

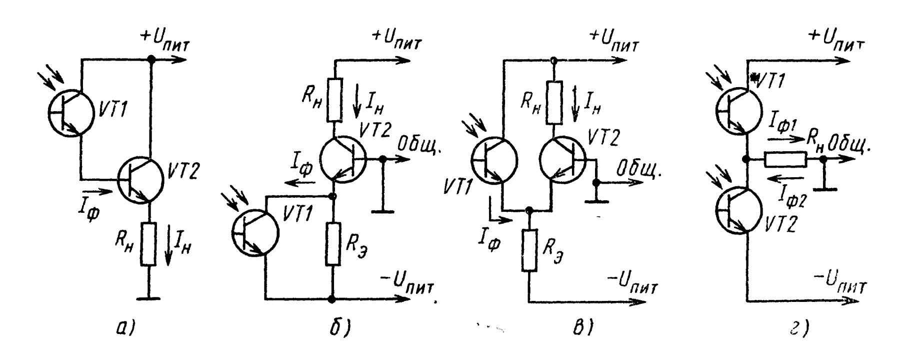


Рис. 2.3

цепью отрицательной обратной связи через резисторы R2 и R3. Выходной ток $I_н$ протекает по низкоомному сопротивлению нагрузки $R_н$.

Фототранзисторы подключаются к усилителям, так же как фотодиоды. Здесь пригодны рассмотренные схемы (рис. 2.2, а—в). Необходимо только учитывать, что выходной ток фототранзистора в десятки раз больше, чем у фотодиода при одинаковой освещенности, благодаря чему можно использовать меньшее число усилительных ступеней. Например, устройство, содержащее одну усилительную ступень (рис. 2.3, а) и фототранзистор, преобразует мощность светового потока также эффективно, как устройство по схеме рис. 2.2, б с фотодиодом. На рис. 2.3, б, в показаны другие варианты включения фототранзисторов. Здесь фототранзисторы и транзисторы усилителя работают в активном режиме и эффективно реагируют на изменение освещенности. Удобна каскодная схема включения (рис. 2.3, г). Ток в цепи нагрузки в этом случае определяется разностью фототоков $I_{ф1}$ и $I_{ф2}$. При этом происходит взаимная компенсация значений темнового тока $I_{т1}$ и $I_{т2}$, а временные и температурные изменения тока фототранзисторов практически не влияют на выходной сигнал усилителя. Каскодный узел обладает широким динамическим диапазоном, что необходимо для мощных выходных усилителей.

Некоторые особенности имеет сопряжение этих фотоприборов с полевыми транзисторами, входное сопротивление которых очень велико. В этом случае усилитель практически не потребляет тока и реагирует на изменение напряжения на фотоприемнике.

Если в узле по схеме, показанной на рис. 2.4, а, фототок $I_ф$ отсутствует, то напряжение затвора фиксировано на уровне —$U_{пит}$ (рис. 2.4, б, состояние 1). По мере увеличения фототока отрицательное напряжение на затворе уменьшается и увеличивается ток стока I_C (рис. 2.4, б, состояние 2). Более эффективно устройство по схеме, показанной на рис. 2.4, в. Положительное напряжение $U_{пит}$ фиксирует рабочую точку МДП-транзистора вблизи порога открывания (рис. 2.4, г, точка 1). При освещении фототранзистора повышается напряжение на затворе и увеличивается ток стока I_C (рис. 2.4, г, точка 2). В узле по схеме рис. 2.4, д напряжение $U_{пит2}$ выше порогового напряжения U_0 МДП-транзистора.

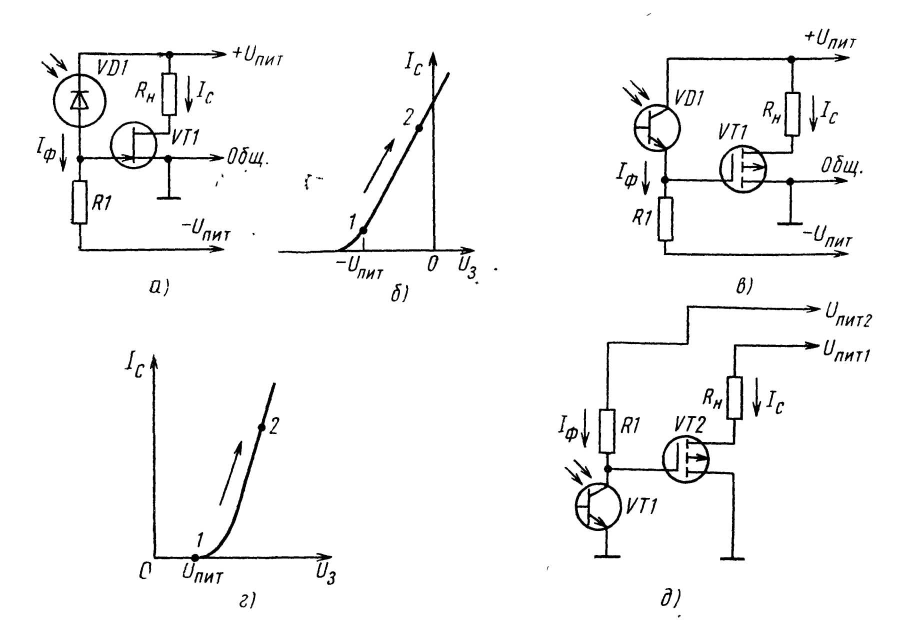


Рис. 2.4

При освещении фототранзистора уменьшается ток стока I_C и при фототоке $I_ф > (U_{пит2} - U_0)/R1$ МДП-транзистор полностью закрывается.

В ряде применений стабилизация электрического режима фототранзистора с «плавающей базой» вызывает некоторые трудности в связи с отсутствием фиксации базового напряжения. Обратный ток коллектора неосвещенного фототранзистора $I^*_{K0} = (1 + h_{21Э}) I_{K0}$ в $h_{21Э}$ раз превышает обратный (тепловой) ток коллекторного p-n перехода и в $h_{21Э}$ раз увеличивает его температурную и временну́ю нестабильность.

Для стабилизации положения рабочей точки необходимо фиксировать напряжение на базе. В усилительной ступени, схема которой показана на рис. 2.5, а, напряжение на базе определяется сопротивлением резисторов R1 и R2. Эмиттерный ток ограничен резистором R4. Для хорошей стабилизации режима резисторы необходимо выбирать из условия $R1 \| R2 < R4$.

Стабилизация ключевого узла с общим эмиттером достигается включением резистора $R_б$ в цепь базы (рис. 2.5, б). Стабилизирующее действие этого резистора иллюстрирует рис. 2.6, а, на котором показаны зависимость тока коллектора I_K неосвещенного фототранзистора и две зависимости тока базы $I_Б$ от напряжения на эмиттерном переходе. Одна из двух последних (1) соответствует случаю отсутствия облучения, а другая (2) — наличию. Там же показана линия статической нагрузки эмиттерного перехода $I_R = -U_{БЭ}/R_б$, определяющая ток базы, отбираемый цепью с резистором $R_б$ в зависимости от напряжения $U_{БЭ}$.

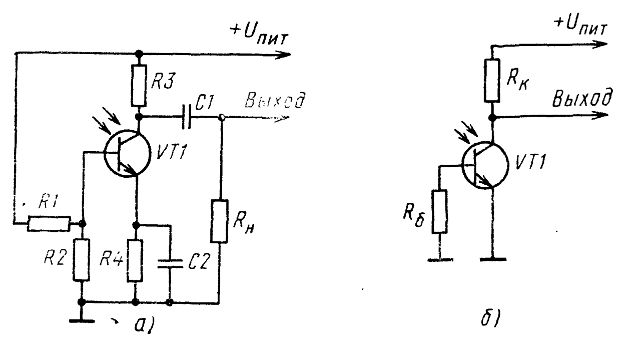


Рис. 2.5

В отсутствие облучения резистор $R_б$ фиксирует напряжение на базе $U_{БЭ}$, ток базы (точка M) равен I_{K0}; ток коллектора I_K (точка M) близок к минимальному уровню $+I_{K0}$. Все это обеспечивает стабилизацию электрического режима. При наличии облучения рабочая точка M переходит в положение N; напряжение на базе повышается на $U_{БЭN}$; увеличивается отбор фототока в цепь с резистором $R_б$. Этот отбор невелик, если $U_{БЭN}/R_б \ll I_ф$. Хорошей стабилизации положения рабочей точки можно достигнуть, если $I_{K0}R_Б \ll U_{БЭN}$ (при изменении I_{K0} значение $U_{БЭ}$ меняется мало). Из этих неравенств следует, что для стабилизации режима необходимо выполнять условие $I_ф \gg I_{K0}$.

Пример схемы узла со стабилизацией статического тока фототранзистора путем введения глубокой отрицательной ОС показан на рис. 2.6, б. Отрицательная ОС действует между эмиттером и базой фототранзистора. Температурные изменения эмиттерного напряжения усиливаются и в противофазе поступают на базу транзистора, компенсируя изменения статического режима.

Фототиристоры удобны для оптического управления мощными электрическими цепями постоянного и переменного токов. В низковольтных преобразова-

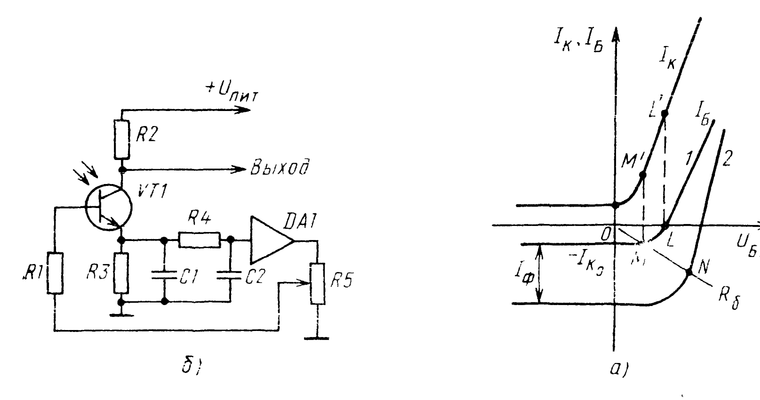


Рис. 2.6

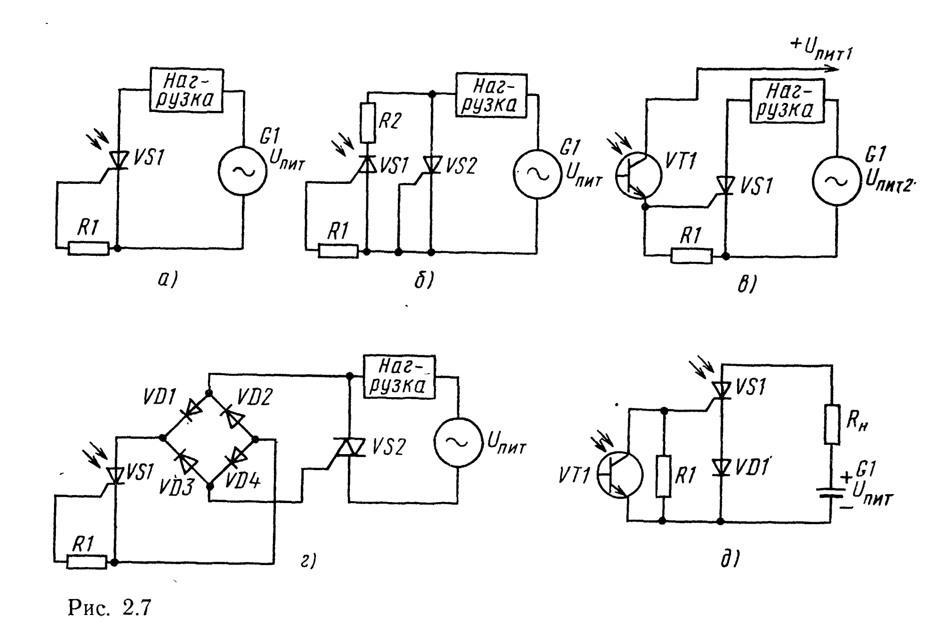


Рис. 2.7

телях малой мощности фототиристоры можно использовать для непосредственной коммутации нагрузки (рис. 2.7, а). В мощных преобразователях (особенно высоковольтных) маломощный фототиристор управляет мощным, в цепи которого включена нагрузка (рис. 2.7, б). В узле по схеме, показанной на рис. 2.7, в, тиристор переключается сигналом фототранзистора VT1. В устройстве по схеме рис. 2.7, г фототиристор, включенный в диагональ диодного моста, управляет мощным выходным симистором. Схема узла коммутации с источником питания постоянным напряжением показана на рис. 2.7, д. Включают нагрузку облучением фототиристора. Выключение фототиристора VS1 обеспечивает VT1. Затемненный фототиристор при освещении переходит в режим насыщения и замыкает управляющий электрод VS1 на шину нулевого потенциала. При этом фототиристор выключается.

Первоначально операционные усилители (ОУ) применяли в вычислительной технике для выполнения различных математических операций (суммирование, умножение, интегрирование и т. д.). Постепенный рост выпуска ОУ в виде микросхем и непрерывное совершенствование их параметров сделали ОУ универсальными элементами разнообразных оптико-электронных устройств.

В настоящее время выпускается широкая номенклатура ОУ, в том числе предназначенных для усиления сигналов фотоприборов, таких, как фоторезисторы, фотодиоды, фототранзисторы. Применение ОУ существенно упрощает решение соответствующих технических задач.

Операционный усилитель — дифференциальный усилитель постоянного тока с очень большим (до 10^{10} раз) коэффициентом усиления и в большинстве слу-

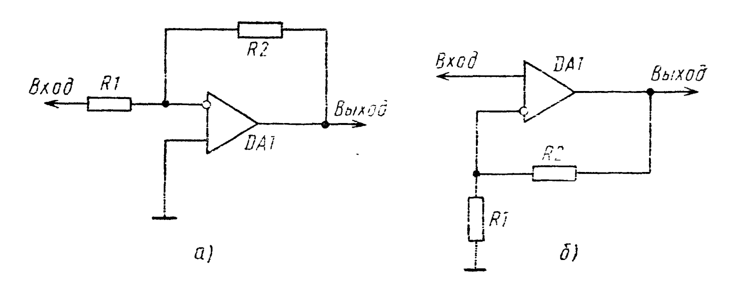


Рис. 2.8

чаев несимметричным выходом (есть ОУ с симметричным выходом). Операционный усилитель никогда не включают без отрицательной обратной связи (ОС). При этом уменьшается коэффициент усиления ОУ, но повышается линейность амплитудной характеристики, уменьшаются нелинейные искажения, сглаживается частотная характеристика. Практически можно считать, что характеристики ОУ в основном определяются свойствами цепи отрицательной ОС.

Входной ток ОУ очень мал (единицы пикоампер), особенно если его входные ступени выполнены на полевых транзисторах. Выходное сопротивление — доли ома.

Так как входы ОУ тока практически не потребляют, то в общем случае (рис. 2.8, а) коэффициент усиления ОУ

$$U_{вых}/U_{вх} = -(R_2/R_1).$$

Такой усилитель называют инвертирующим. Схема неинвертирующего усилителя показана на рис. 2.8, б. Его коэффициент усиления равен

$$U_{вых}/U_{вх} = 1 + R_2/R_1.$$

Основные параметры ОУ. Коэффициент усиления K_U — отношение изменения выходного напряжения $\Delta U_{вых}$ к вызвавшему его изменению дифференциального входного напряжения $\Delta U_{вх}$ ($\Delta U_{вх} = e_+ - e_-$ — разность входных сигналов)

$$K = \Delta U_{вых}/\Delta U_{вх}.$$

Напряжение смещения $U_{см}$ — дифференциальное входное напряжение, при котором выходное напряжение усилителя равно нулю. Максимальное (по модулю) значение напряжения $U_{см}$ для ОУ, входные ступени которых выполнены на биполярных транзисторах, равно примерно 3 ... 10 мВ. Если на входе ОУ использованы полевые транзисторы, $U_{см}$ равно 30 ... 100 мВ.

Средний входной ток $i_{вх}$ — среднее арифметическое значений тока инвертирующего и неинвертирующего входов усилителя, измеренное при таком входном напряжении, при котором выходное равно нулю. Средний входной ток ОУ с входными ступенями на биполярных транзисторах примерно равен 0,1 ... 1 мкА. При использовании полевых транзисторов входной ток не превышает 1 нА.

Разность значений входного тока $\Delta I_{вх}$ — абсолютные значения тока обоих входов усилителя, измеренная при напряжении на выходе ОУ, равном нулю. Эта разность характеризует степень симметрии входных ступеней ОУ.

Входное сопротивление ОУ является важным параметром. Оно представляет собой совокупность двух составляющих: входного сопротивления сигналу, измеряемому между входами (так называемое дифференциальное входное сопротивление $R_{вх.диф}$), и входного сопротивления синфазному сигналу (сопротивление утечки между входом и общим проводом). Входное дифференциальное сопротивление биполярных ОУ находится в пределах 10 кОм ... 10 МОм, а синфазное — более 100 МОм.

Разность значений сопротивления эмиттерных переходов входных транзисторов и разброс номиналов их нагрузочных резисторов приводят к появлению постоянного выходного напряжения в отсутствие сигнала на входе. Для компенсации этого напряжения между входами ОУ прикладывают напряжение смещения. Этот процесс называют балансировкой ОУ. Появлению напряжения «сдвига нуля» на выходе в отсутствие сигнала на входе способствует наличие базового тока входных биполярных или тока утечки входных полевых транзисторов. Этот ток, протекая через выходное сопротивление источника сигнала, создает падение напряжения, «сдвигающее нуль». Реально значения входного тока отличаются на 10 ... 20%. По известной разности этих значений $\Delta i_{вх}$ можно подобрать сопротивление балансировочного резистора.

Напряжение $U_{см}$ и выходной ток зависят от температуры. Температурный дрейф оценивают изменением напряжения или тока, вызванным изменением температуры окружающей среды на 1° С.

Предельный выходной ток ОУ определяет минимальное сопротивление нагрузки при номинальном выходном напряжении. Чтобы избежать выхода ОУ из строя при превышении предельного тока, современные ОУ оснащают узлами защиты. Обычно предельный выходной так не превышает 25 мА.

Выходное сопротивление ОУ в зависимости от его схемы и назначения находится в пределах 20 ... 2000 Ом, при наличии узла защиты это значение не оговаривают.

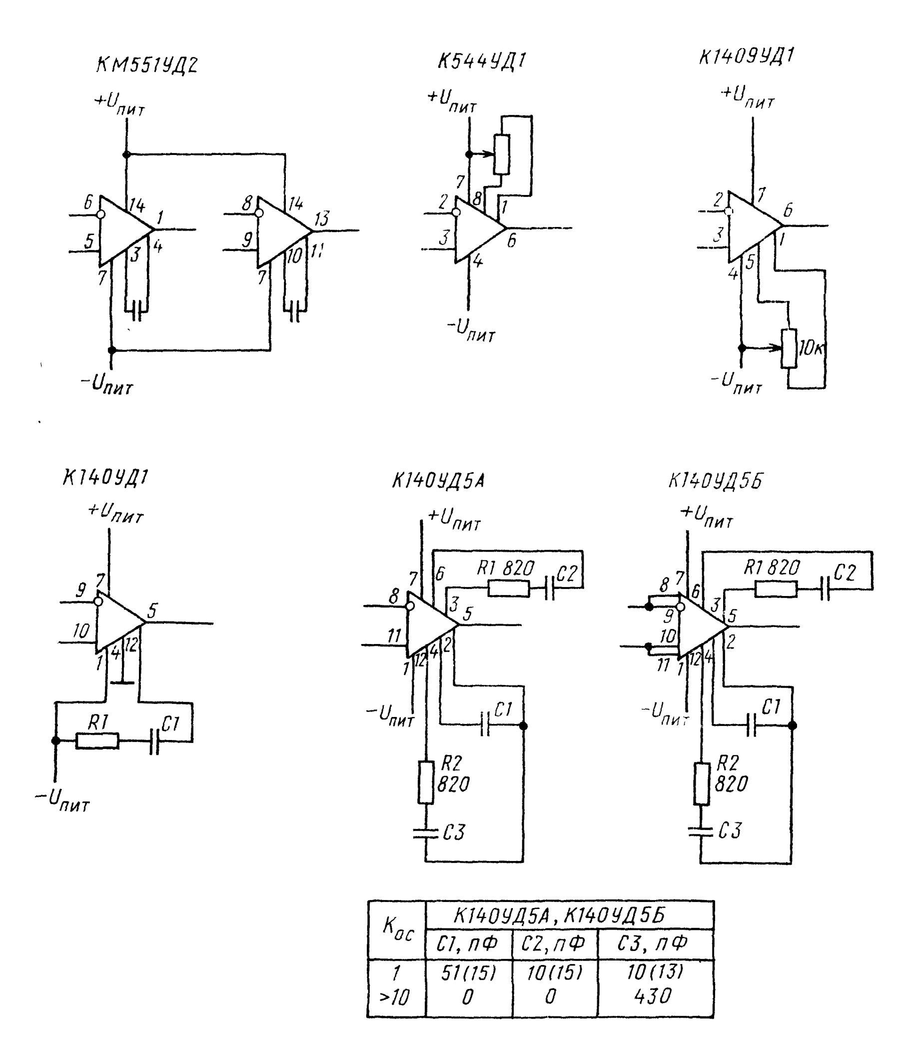
Импульсные свойства ОУ оценивают по скорости увеличения выходного напряжения $U_{вых}$ (скорости отклика), под которой понимают отношение изменения $U_{вых}$ от 10 до 90% своего номинального значения ко времени такого же изменения при подаче на вход идеального перепада напряжения.

Операционные усилители имеют дифференциальный вход и поэтому усиливают разностное входное напряжение. На выходе усилителя не должно быть отклика, если на обоих входах действует синфазный сигнал. Это качество ОУ оценивают коэффициентом ослабления синфазного сигнала $K_{осл.сф}$ и обычно выражают как логарифм отношения паразитного коэффициента передачи синфазного напряжения к полезному дифференциальному коэффициенту усиления.

Параметры некоторых ОУ, используемых для усиления сигналов фоточувствительных приборов, представлены в табл. 2.1.

Цоколевка ОУ и схемы коррекции и балансировки показаны на рис. 2.9.

Схемы включения фотоприборов к ОУ. Схемы подключения фотодиода и фототранзистора к ОУ показаны на рис. 2.10, а, б. В этих устройствах напряжение на входе относительно провода поддерживается равным нулю. Фотодиод



K_{oc}	К140УД5А, К140УД5Б		
	С1, пФ	С2, пФ	С3, пФ
1	51(15)	10(15)	10(13)
>10	0	0	430

Рис. 2.9 (начало)

развивает напряжение, равное всего нескольким долям вольта. Включение резистора R1 улучшает некоторые характеристики устройства.

Другие варианты включения фотодиода к ОУ изображены на рис. 2.11, а (фотогальванический режим) и 2.11, б (фотодиодный режим). Для работы фотоприбора в фотодиодном режиме использован дополнительный источник питания. Резистор R1 — нагрузка фотодиода.

Фототранзистор обычно включают так же, как и фотодиод, для работы в режиме с «плавающей базой» (вывод базы свободен), но при этом обеспечивают

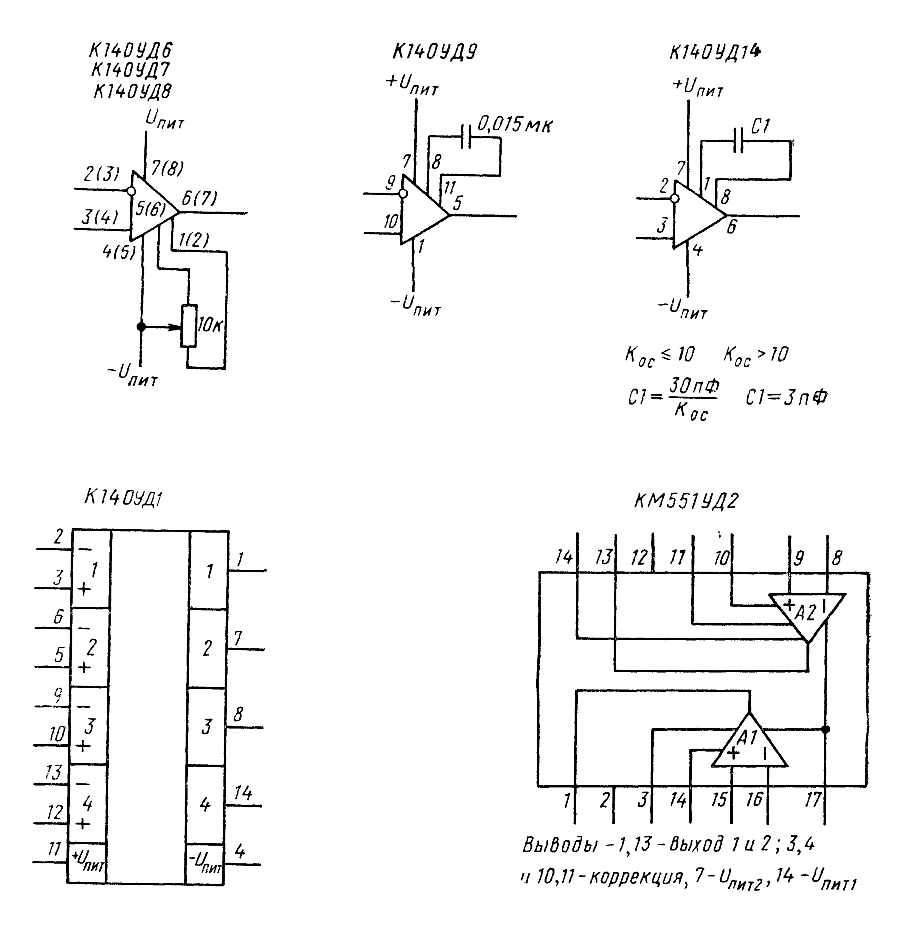


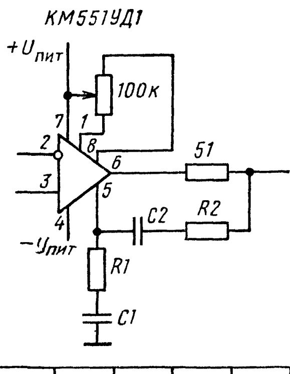
Рис. 2.9. (Продолжение)

бо́льшую чувствительность Германиевые фототранзисторы, имеющие вывод базы, могут быть включены подобно обычным транзисторам. Вариант схемы подключения ФТ к ОУ показан на рис 2.12, в. Входное сопротивление ОУ очень велико и практически не нагружает фотоприбора, однако его электрический режим фиксирован довольно жестко.

Особенности электрического согласования фотодиода с ОУ иллюстрируются рис. 2.12, а и б.

Выходное напряжение ОУ (рис. 2.12, а) $U_{вых} = K_U/(K_U+1)$, $I_ф R1$, где K_U — коэффициент усиления ОУ. Так как $K_U \gg 1$, $U_{вых} = I_ф R1$.

Электрический режим фотодиода определяют уровень фототока и разность потенциалов U на входах ОУ. При этом $U = -U_{вых}(K_U = -I_ф R1)/(K_U+1) = -I_ф R1/K_U$. Эквивалентное сопротивление нагрузки фотодиода со стороны ОУ



K_{oc}	R1,Ом	C1,пФ	R2,Ом	C2,пФ
1	10	47	39	22
10	27	47	270	1,5
100	47	10		

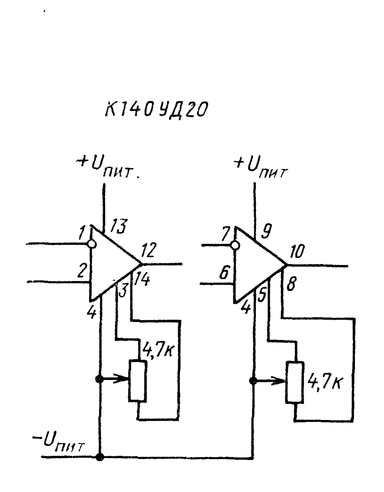


Рис. 2.9 (окончание)

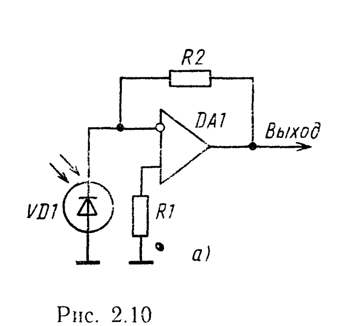


Рис. 2.10

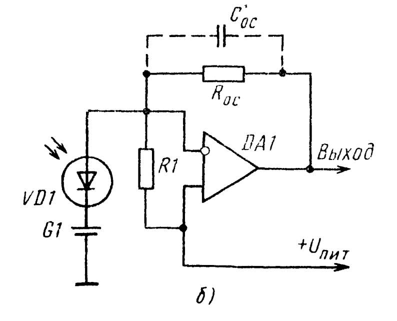


Рис. 2.11

Таблица 2.1. **Основные характеристики некоторых операционных**

Параметр	ОУ			
	КР140УД1	К140УД5	К140УД6	К140УД7
Коэффициент усиления K_U, В/мВ	2	1	70	50
Напряжение смещения $U_{см}$, мВ	7	5	5	4
Дрейф напряжения смещения $\Delta U_{см}/\Delta T$, мкВ °С	20		20	6
Входной ток $I_{вх}$, нА	$8\cdot10^3$	$1\cdot10^4$	30	200
Разность значений входного тока $\Delta I_{вх}$, нА	$1{,}5\cdot10^3$	$5\cdot10^3$	10	50
Дрейф разности значений входного тока $\Delta I_{вх}/\Delta T$, нА/°С	30	—	0,1	0,4
Скорость нарастания выходного напряжения $U_{вых}/t$, В/мкс	0,5	6	2,5	до 10
Коэффициент ослабления синфазного сигнала $K_{осл.сф}$, дБ	60	60	80	70
Максимальный выходной ток, $I_{вых\,max}$, мА	3	3	25	20
Максимальное выходное напряжение $U_{вых\,max}$, В	6	6,5	11	11,5
Максимальное входное напряжение $U_{вых\,max}$, В	1,5	3	15	12
Максимальное входное синфазное напряжение $U_{вх.сф\,max}$, В	3	6	11	11
Напряжение источника питания $2\times U_{пит}$, В	12,6	12,6	15	15
Потребляемый ток, $I_{пот}$, мА	8	12	2,8	2,8
Наличие внутренней коррекции	Нет	Нет	Есть	Есть
Наличие узла защиты от замыкания выхода	Нет	Нет	Есть	Есть

* Указаны параметры одного канала.
** При минимальном значении сопротивления нагрузки.

$R_{н.экв}=U/I_ф=R1/K_U$. Положение рабочей точки (рис. 2.12, б) находят на пересечении ВАХ прибора с линией нагрузки: $I_ф/U_ф=I/R_{нф}$.

У фототранзистора необходимо фиксировать рабочую точку в активном режиме, для чего (см. рис. 2.12, в) вводят дополнительный источник напряжения $U_Б$. Выходное напряжение ОУ связано с током коллектора фотоприбора следующим образом: $U_{вых}=I_K R1$.

Пример подключения фотодиода к ОУ на полевых транзисторах К544УД14 показан на рис. 2.13. Конденсаторы С1 и С2 подбирают так, чтобы обеспечить устойчивость работы ОУ и подавить возможные нежелательные внешние наводки.

При использовании ОУ необходимо иметь в виду, что размах напряжения на его выходе не может быть больше напряжения питания (обычно он меньше на 2 В). Операционный усилитель должен быть охвачен отрицательной ОС по постоянному току, иначе он обязательно войдет в режим насыщения. Макси-

усилителей

К140УД8	К140УД9	К140УД20 *	К544УД1	КМ551УД2 *	К553УД1	К553 УД2	К1401УД1 **	К140УД14	К1409УД1
50	35	50	50	5	25	20	2	50	20
20	5	5	15	5	5	7,5	—	2	15
50	35	2	20	1	0	1,5	—	—	—
0,2	100	200	0,15	—	200	1500	150	2	2
0,15	—	50	0,05	—	50	500	—	0,2	1,2
—	1,5	0,5	—	—	—	—	—	—	0,02
5	5	0,3	2	0,03	—	0,5	0,5	—	4
64	80	70	70	70	80	70	—	85	—
20	22	20	20	2 кОм **	2 кОм **	2 кОм **	10	20	1,8кОм **
10	10	11,5	10	11,5	10	10	—	13	18
10	7	—	10	10	5	10	—	10	10
12	6	12	10	8	8	10	—	13,5	10
15	12,6	15	15	15	15	15	15	15	15
5	—	2,8	3,5	10	6	8,5	—	0,6	6
Есть	Есть	Есть	Есть	Нет	Нет	Нет	Есть	Нет	Есть
Есть	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть	Нет	Есть	Есть	Есть

мальная разница между значениями напряжения на инвертирующем и неинвертирующем входах должна быть ограничена на уровне примерно 5 В для любой полярности; если это условие не выполняется, характеристики усилителя ухудшаются вплоть до отказа усилителя.

2.2. Фоточувствительные приборы в простейших схемах автоматики и робототехники

Фоточувствительные приборы — «глаза» роботов и целого ряда автоматических устройств. Фотоприборы позволяют использовать бесконтактные методы обнаружения, классификации деталей, управления размещением предметов и т. д.

Указанные ниже примеры иллюстрируют некоторые возможности применения фотоприборов в устройствах автоматического управления технологическими процессами, счета деталей, различных устройств защиты и т. п.

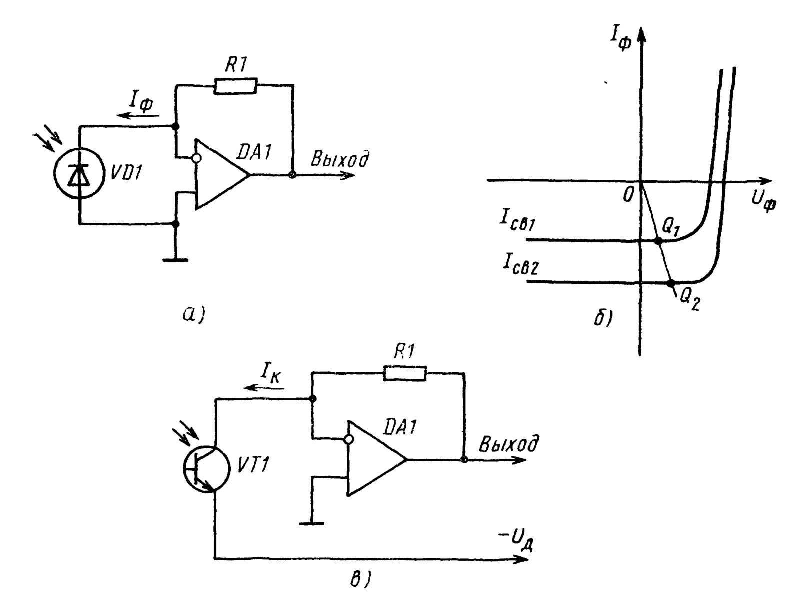


Рис. 2.12

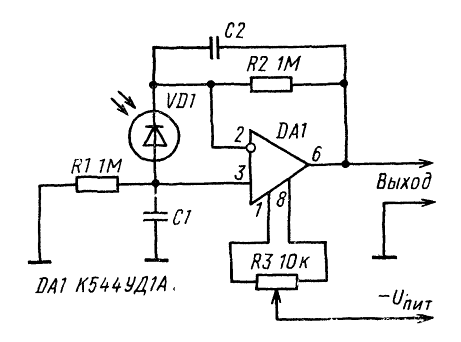


Рис. 2.13

Преобразователь угол — код. Часто встречается задача преобразования угла поворота вала вокруг своей оси в последовательность электрических импульсов (код). Для этого вдоль образующих вала наносят темные и светлые полосы, которые освещают светодиодом HL1 (рис. 2.14). Отраженные световые импульсы принимает и преобразует в электрические импульсы напряжения фототранзистор VT1. Частота импульсов, возникающих при вращении вала, пропорциональна частоте его вращения; таким образом, нетрудно измерить число оборотов вала в единицу времени.

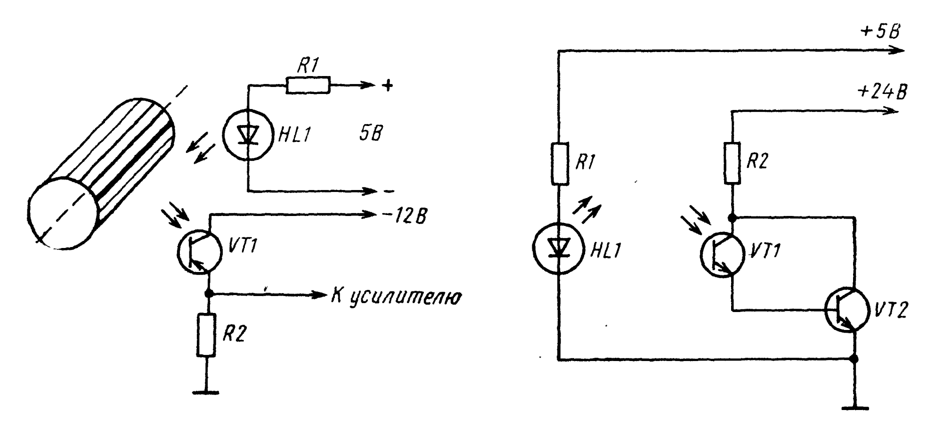


Рис. 2.14

Рис. 2.15

Переключатель. Широко распространенные механические переключатели обладают рядом недостатков, обусловленных износом контактов. При коммутации могут возникать помехи, способные вызвать ложные срабатывания и другие нежелательные явления. От этих недостатков свободен оптоэлектронный переключатель (рис. 2.15). Светонепроницаемую пластину перемещают на пути светового потока от светодиода HL1 к фототранзистору VT1. Если поток света перекрыт, фототранзистор закрыт, и наоборот. Сигнал управления исполнительными цепями снимают с резистора R2.

Аварийный останов. Схема узла аварийного останова конвейера показана на рис. 2.16. Если заготовки на ленте перемещаются ритмично, то они прерывают луч светодиода HL1, падающий на фототранзистор VT1 с соответствующей частотой. При перекрытии луча фототранзистор закрывается и начинается зарядка конденсатора C1 (через цепь VD1R3), емкость которого выбирают

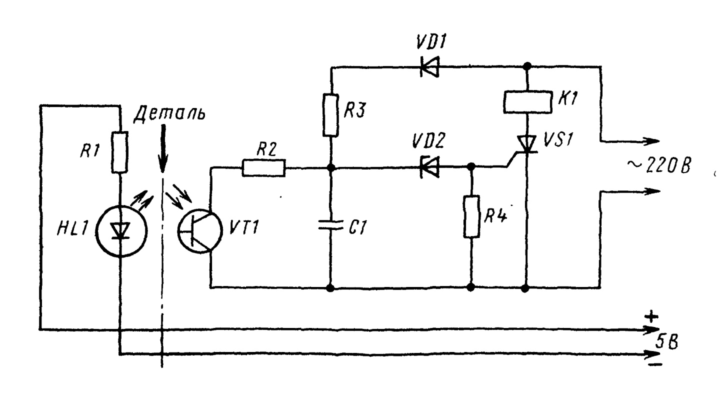


Рис. 2.16

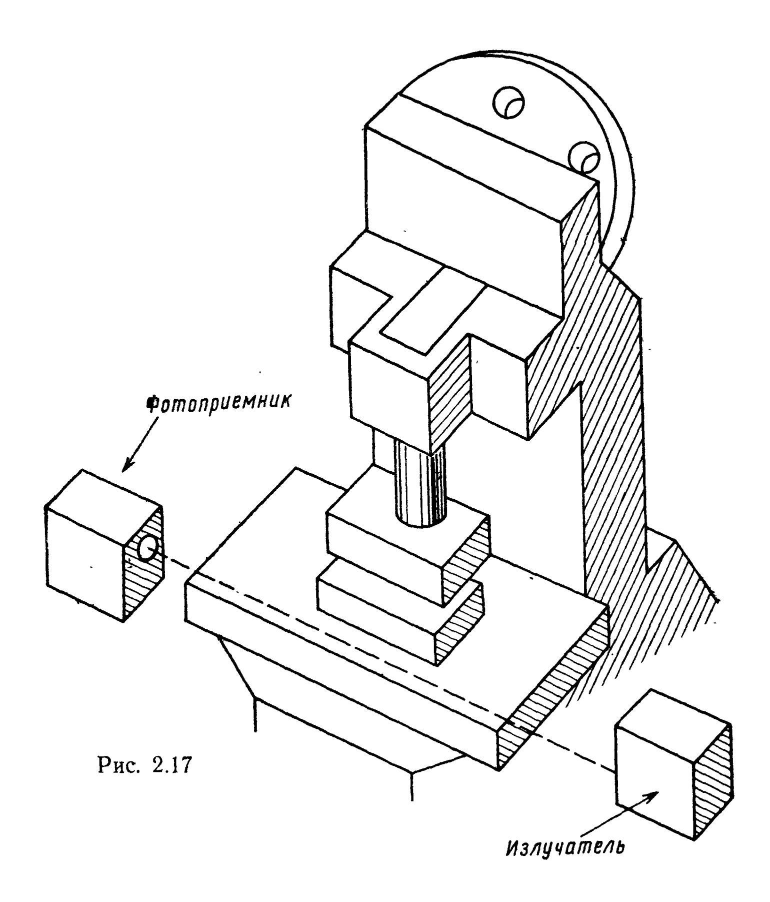


Рис. 2.17

настолько большой, чтобы за время перекрытия луча одной заготовкой он не успел зарядиться до напряжения открывания стабилитрона VD2. Как только заготовка проходит, открывшийся фототранзистор разряжает конденсатор C1.

Если же установленный режим перемещения заготовок нарушается, например, скопившиеся заготовки перекрывают луч на длительное время, конденсатор C1 успевает зарядиться, открывается стабилитрон VD2, а вслед за ним и тринистор VS1, срабатывает реле K1, выключающее привод конвейера.

Защита оператора. На рис. 2.17 схематически показан пресс, доступ в рабочую зону которого контролирует световое охранное устройство. При прерывании луча света, например, рукой оператора, устройство подает сигнал, останавливающий пресс.

Тахометр. На вращающемся диске (рис. 2.18) есть выступ, который при каждом обороте вала прерывает луч. Фотоприемник отмечает момент отсутствия сигнала и передает соответствующую посылку к счетчику, регистрирующему число оборотов диска. Вместо выступа в диске можно просверлить отвер-

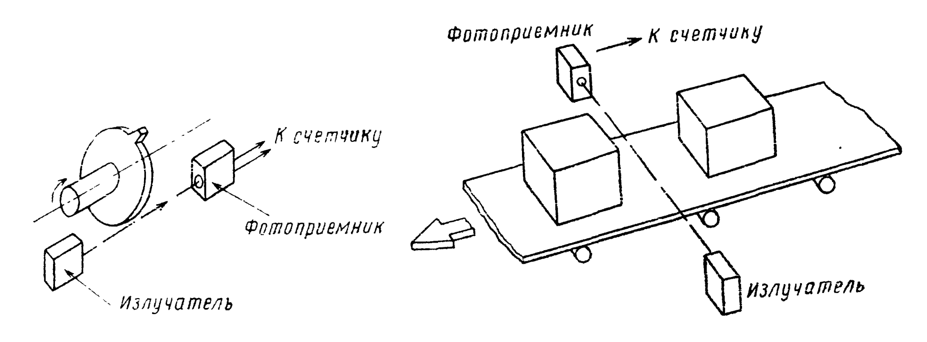


Рис. 2.18 Рис. 2.19

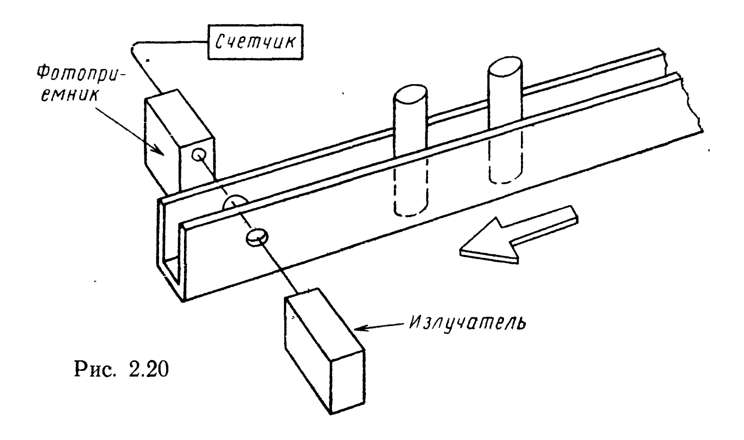


Рис. 2.20

стие — в этом случае фотоприемник отметит моменты прохождения света через отверстие.

Счетчик предметов. Аналогично работает счетчик изделий на ленте конвейера (рис. 2.19). Для этой цели можно использовать оптопару с открытым каналом, фотоприемник которой воспринимает отраженный от предмета сигнал. При счете мелких предметов (рис. 2.20) на входе фоточувствительного прибора устанавливают диафрагму, которая ограничивает рассеяние потока излучения и повышает точность обнаружения деталей. При этом диаметр отверстия в диафрагме на входе фоточувствительного прибора должен быть меньше или равен поперечному размеру регистрируемой детали.

Группировка деталей. С конвейера 2 перегружаются детали на конвейер 1 (рис. 2.21), а пара излучатель 2 — фотоприемник 2 подсчитывает их. При прохождении заданного числа деталей, например трех, как показано на рисунке, конвейер 2 останавливается сигналом фотоприемника 2. Конвейер 1 движется со скоростью, меньшей, чем у конвейера 2, и перегруженные на него детали оказываются сгруппированными по три.

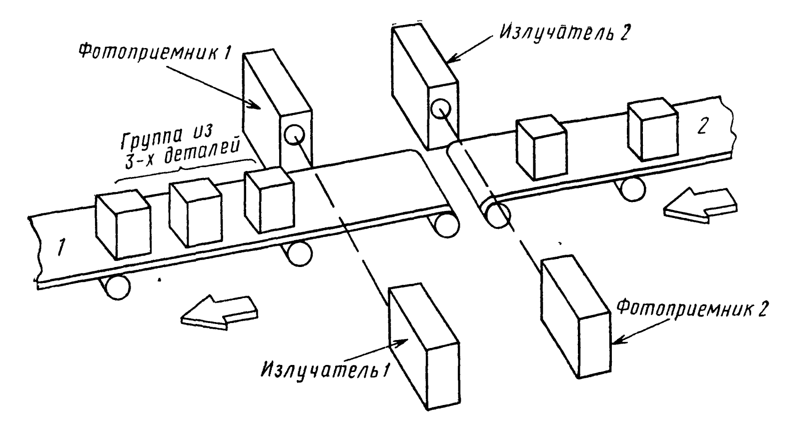
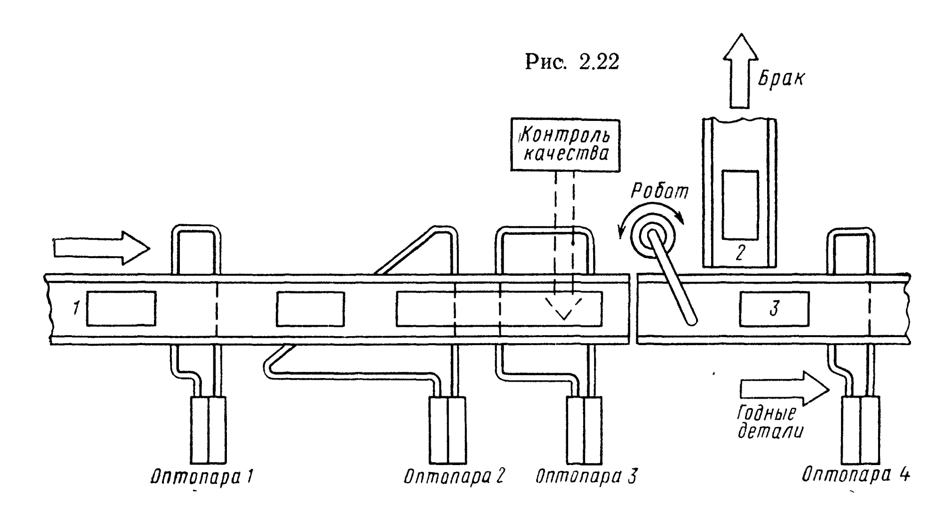


Рис. 2.21

Рис. 2.22



Пара излучатель 1 — фотоприемник 1 также считает детали и формирует необходимые сигналы исполнительному устройству, синхронизирующему работу конвейеров. В свою очередь, конвейер 1 может быть соединен с другим конвейером, подающим, например, тару, в которую нужно загрузить каждую группу деталей. Применение фоточувствительных приборов позволяет создавать эффективные сенсорные устройства для контроля качества деталей для их автоматизированной сборки.

На рис. 2.22 показано применение фотоприборов, связанных с излучателями через отрезки волоконно-оптических линий, образующих оптопары. Первая оптопара считает число деталей на входном конвейере 1. Вторая определяет необходимость замедления конвейера при избытке деталей. Третья и четвертая

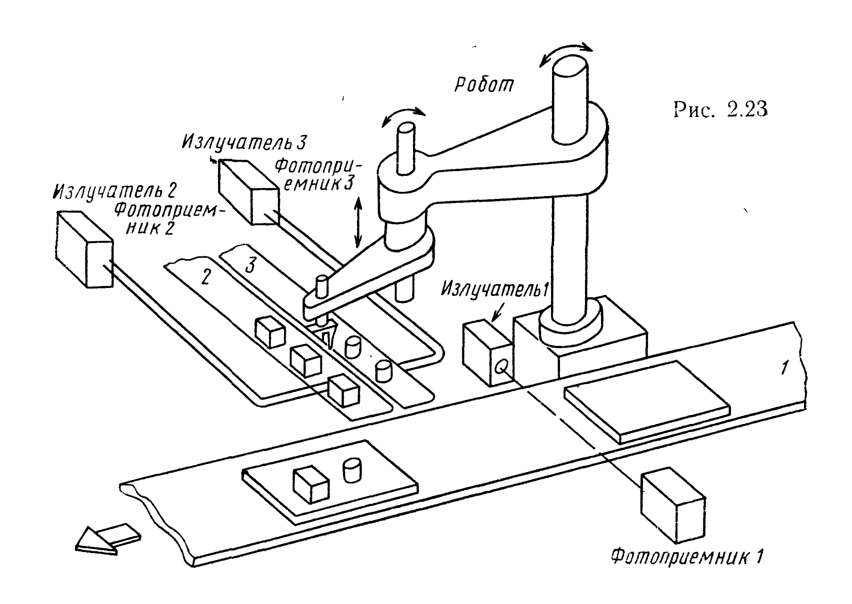


Рис. 2.23

оптопары обеспечивают контроль и отбор негодных деталей на конвейер 2, а также счет годных деталей, поступающих наа сборку 3. На рис. 2.23 показана сборка деталей роботом. Робот устанавливает детали на подложки (например, на печатные платы), поступающие по главному конвейеру 1 и вспомогательным конвейерам 2 и 3. С помощью фотоприборов регулируется положение деталей, момент захвата и координаты сборочных операций.

Контроль параметров физических сред. Фотоприемники могут быть широко использованы для определения параметров различных материалов и анализа оптических свойств жидкостей и газовых сред (рис. 2.24). Поток света от излучателя И проходит через контролируемый объект КО. Прошедшую через него или отраженную часть потока воспринимает фотоприемник ФП и создает электрический сигнал, пропорциональный значению того или иного параметра КО. На рисунке показаны некоторые примеры оптических схем устройства контроля с использованием фотоприборов [4]: прозрачных материалов, отражающих излучение в диапазоне 0,75 ... 2,5 мкм (тканей, бумаги, воздушной среды, жидкости) (рис. 2.24, а); сыпучих и волокнистых материалов, отражающих излучение в диапазоне 0,75 ... 2,5 мкм (минеральных удобрений, хлопка, тканей) (рис. 2.24, б); жидкостей, сыпучих и волокнистых материалов (рис. 2.24, в); сыпучих материалов, окружающей среды (рис. 2.24, г). Очевидно, что спектральные характеристики фотоприемников должны соответствовать спектральным характеристикам источников излучения, в качестве которых обычно используют светоизлучающие диоды.

Индикатор вида жидкости (рис. 2.25). Принцип действия прибора основан на различии показателя преломления жидкостей (например, показатель преломления для воды $n_1=1{,}33$, керосина $n_2=1{,}41$ и т. д.).

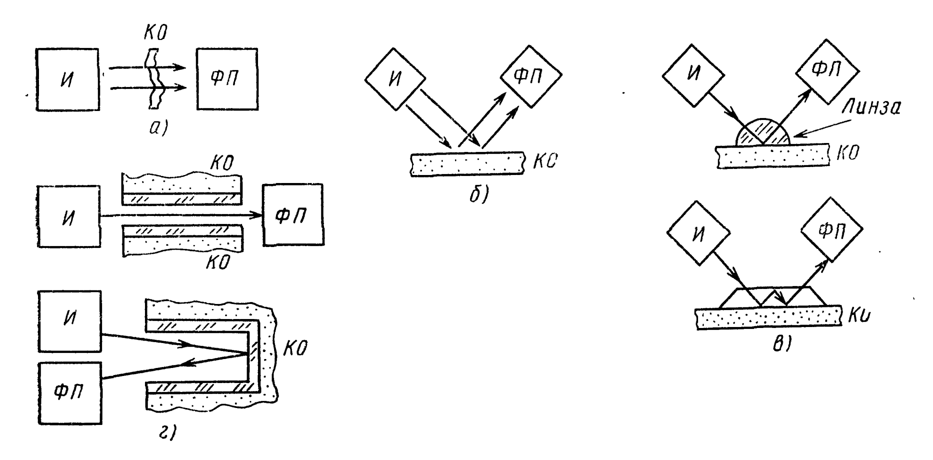


Рис. 2.24

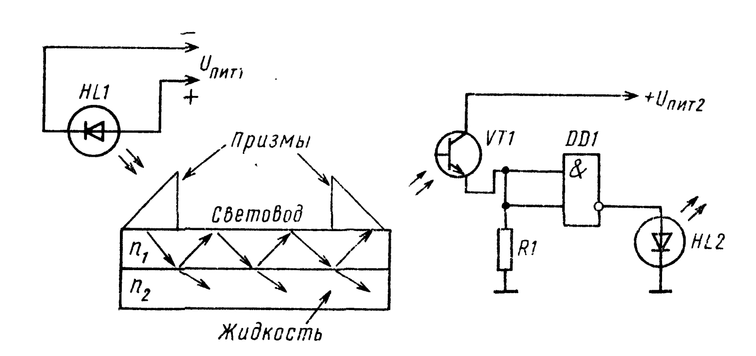


Рис. 2.25

В зависимости от вида жидкости изменяется полоса пропускания оптического канала и соответственно уровень сигнала, подводимого от фототранзистора на вход логического элемента DD1. Элемент переключается, включая индикатор на светодиоде HL2.

Калориметр (рис. 2.26) содержит кювету, заполняемую исследуемой жидкостью, блок источников света, каждый из которых работает на своей длине волны, и блок фотоприемников, каждый из которых имеет спектральную характеристику, соответствующую спектральной характеристике источника излучения.

Структурная схема **концентратомера** показана на рис. 2.27. Если электронный ключ 2 открыт, то светодиод HL1, питаемый генератором тока 1, излучает световой поток, проходящий через контролируемую среду 4 и воспринимаемый фотодиодом VD1. Сигнал с фотодиода подведен к входу операционного усилителя 3, выход которого связан с ключом 2. Когда напряжение на выходе ОУ превысит порог U_1 включения ключа, ключ закроется и напряжение на вы-

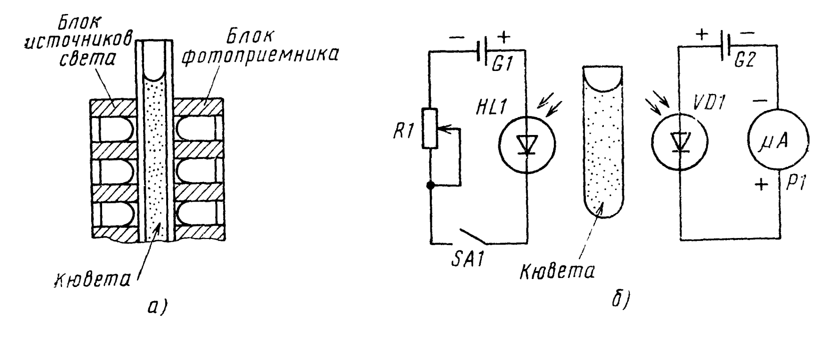


Рис. 2.26

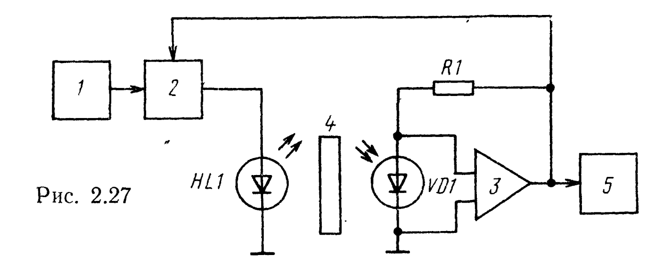


Рис. 2.27

ходе ОУ начнет уменьшаться экспоненциально с постоянной времени τ, определяемой входной емкостью и сопротивлением ОУ до напряжения U_2:

$$U_2 = U_1 \exp(-t/\tau),$$

где t — время, в течение которого ключ открыт. При достижении напряжения U_2 ключ открывается и процесс повторяется. В результате в системе возникают периодические сигналы, описываемые соотношением

$$t = \tau \ln(U_1/U_2).$$

Время t зависит от параметров контролируемой среды, например от концентрации красителя.

Основным узлом измерителя задымленности (рис. 2.28) служит генератор двуполярных прямоугольных импульсов на ОУ DA1 с фоторезистором R5 в цепи обратной связи. Через контролируемый объект КО фоторезистор освещают два светодиода HL1 и HL2, включенные на выходе генератора. В отсутствие дыма или пыли переменными резисторами R1 и R2 и подборкой резисторов делителя R4R6 устанавливают одинаковую длительность световых импульсов того и другого светодиода. Их спектральные характеристики выбирают так, чтобы длина волны излучения одного из них лежала в полосе поглощения контролируемого вещества, а другого — вне этой полосы.

При наличии этого вещества в контролируемом объекте длительность импульсов одной (например, положительной) полярности изменяется, а другой остается неизменной. Импульсы разной полярности разделяют диоды VT1 и VT2,

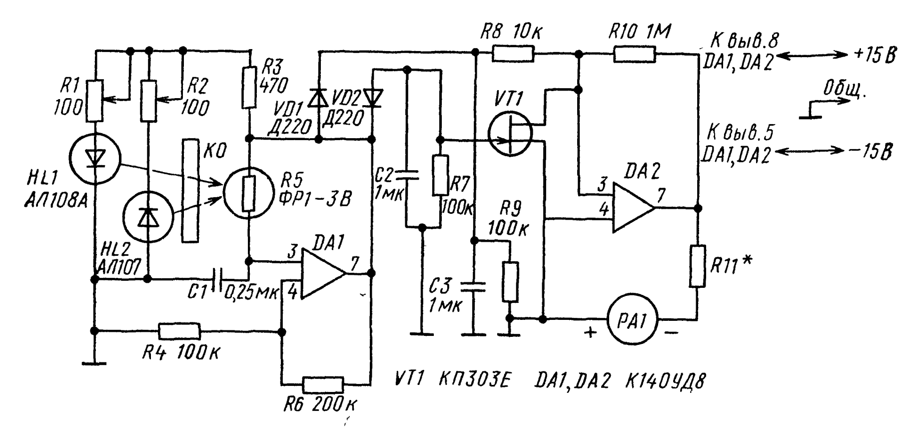


Рис. 2.28

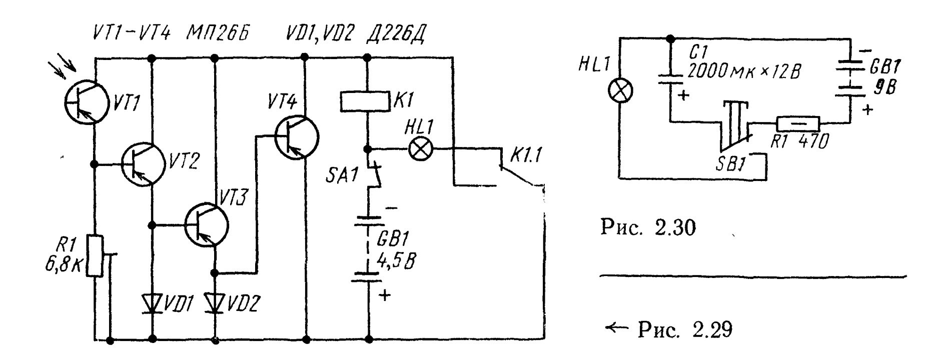


Рис. 2.30

← Рис. 2.29

каждую последовательность интегрирует своя цепь — R6C2 или R7C3 — и усиливают транзистор VT1 и ОУ DA2.

Значение измеряемого параметра (степени задымленности) определяется отношением длительности импульсов той и другой полярности.

Пример схемы простейшего **фотореле** показан на рис. 2.29. В качестве фотоприемника применен биполярный транзистор VT1 со спиленной крышкой корпуса (можно использовать также фототранзистор, фоторезистор, фотодиод). При освещении фототранзистора VT1 ток через него и падение напряжения на резисторе R1 увеличиваются, составной транзистор VT2—VT4 при этом открывается, срабатывает электромагнитное реле K1 и самоблокируется контактами K1.1. Сигнальная лампа HL1 после срабатывания реле K1 гаснет. Для повторения рабочего цикла необходимо выключить и снова включить напряжение питания.

Резистором R1 регулируют чувствительность фотореле. Чем больше его сопротивление, тем выше чувствительность. В фотореле можно применять и другие германиевые транзисторы со статическим коэффициентом передачи тока

не менее 50 (на схеме показан вариант с p-n-p транзисторами. Выходной транзистор VT4 должен обеспечивать достаточный для срабатывания электромагнитного реле ток (не менее 100 мА). Реле должно срабатывать при напряжении 3 ... 3,5 В и возможно меньшем токе. Подойдет реле РЭС9 (паспорт РС4.524.214 или РС4.524.219).

Такое фотореле может найти самое разнообразное применение, например в фототире. Для этого потребуется «световой пистолет». Простейший вариант схемы такого пистолета показан на рис. 2.30.

В исходном состоянии через замкнутые контакты переключателя SB1 и резистор R1 конденсатор C1 заряжен от источника питания GB1. При нажатии на кнопку SB1 (это «курок» пистолета) конденсатор C1 разряжается через лампу накаливания с номинальным напряжением 3 ... 3,5 В. Ток разрядки конденсатора резко перекаливает нить лампы, что обеспечивает высокую яркость вспышки. Сопротивление нити лампы мало, поэтому конденсатор разряжается быстро (за доли секунды), нить накала не успевает перегореть.

Устройство защиты громкоговорителей используют при непосредственном подключении их к выходу каналов стереофонического усилителя ЗЧ с двуполярным питанием. С помощью реле K1 (рис. 2.31) устройство отключает громкоговорители при возникновении неисправностей усилителя, из-за которых на выходе возникает постоянное напряжение или напряжение инфразвуковой частоты. Устройство также устраняет щелчки, обычно слышимые из громкоговорителей при включении питания.

Конденсатор C2, резисторы R5, R6 и диод VD1 обеспечивают задержку подключения громкоговорителей к выходам усилителя по отношению к моменту включения напряжения питания примерно на 5 с при указанных номиналах деталей. Задержка служит для исключения щелчков.

При появлении на выходе любого из каналов усилителя постоянного напряжения положительной или отрицательной полярности открывается соответствующий транзистор VT1 или VT2, включается излучатель соответствующего оптрона и уменьшается обратное сопротивление фотодиода этого оптрона. В результате транзистор VT3 открывается, напряжение на его коллекторе становится близким к нулю, что приводит к закрыванию транзистора VT4 и обесточиванию реле K1 и отключению громкоговорителей.

2.3. Воспроизведение записей с компакт-дисков

На компакт-диск звуковой сигнал, преобразованный в импульсную форму, записывают с помощью луча миниатюрного полупроводникового лазера. В течение импульса сфокусированный луч лазера мощностью несколько милливатт за доли микросекунды испаряет легкоплавкий материал компакт-диска. Приэ том на его поверхности формируется миниатюрный кратер (рис. 2.32, а) — углубление диаметром около 0,5 мкм (диаметр человеческого волоса примерно 50 мкм). Глубина кратера очень мала — приблизительно 0,1 мкм. Будем называть этот кратер точкой. В отсутствие импульса поверхность диска остается без изменений. Таким образом записывают на диск импульсную последовательность в форме чередования точек.

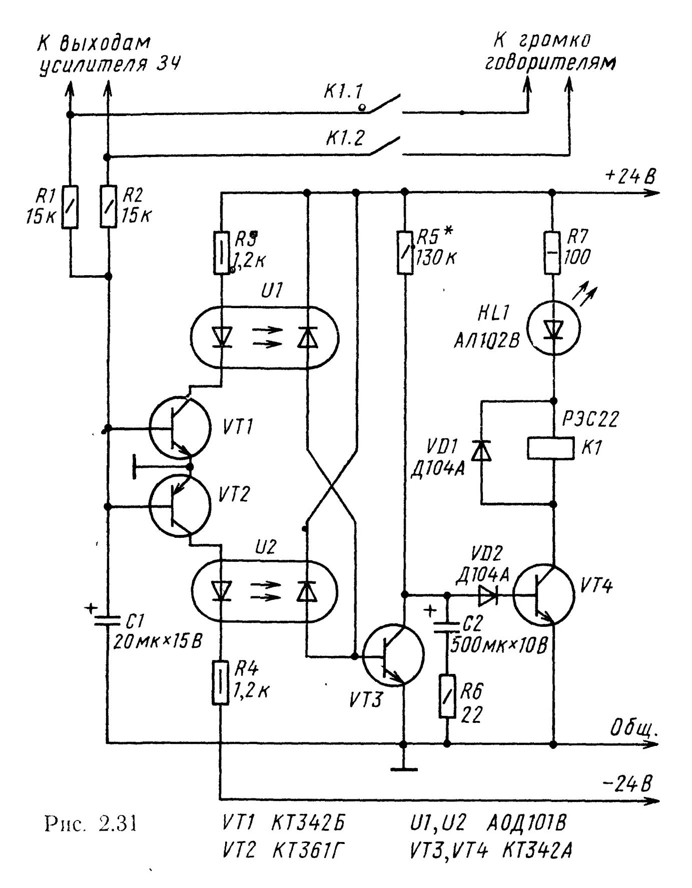


Рис. 2.31

Считывают последовательность точек с диска также с помощью маломощного (около 3 мВт) полупроводникового лазера. Считывающий луч лазера отражается от гладкой поверхности диска, но рассеивается при попадании в точку. С помощью оптической системы (рис. 2.32, б) луч проходит в обоих направлениях — к поверхности диска и обратно. Отраженный луч направляют на фотодиод, который воспринимает сигнал, несущий информацию.

Двоичный сигнал, снимаемый с выхода фотодиода, электронный блок обрабатывает и преобразует в звуковой сигнал. Лазер является источником монохроматического (с единственной частотой излучения) и когерентного (без перерывов в распространении волны) излучения. Такой луч можно очень хорошо сфокусировать.

На поверхность компакт-диска наносят прозрачный слой, защищающий записанную информацию от возможных повреждений. Этот слой совместно с оптической линзой фокусирует луч лазера. Диаметр луча на поверхности прозрачного покрытия равен примерно 1 мм, а в результате фокусировки умень-

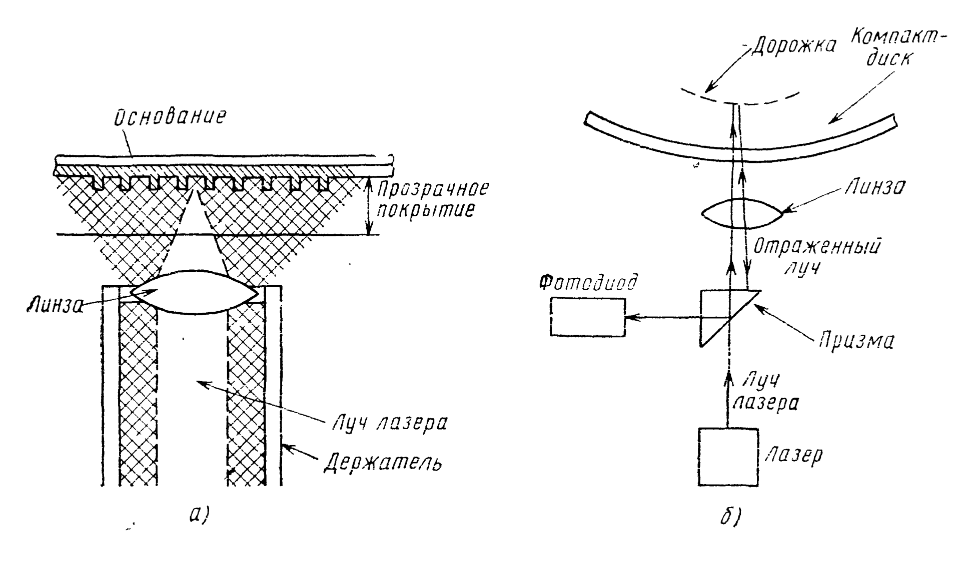


Рис. 2.32

шается до 0,5 мкм. Поэтому частицы пыли на поверхности диска практически не влияют на фокусировку луча, хотя диаметр их может достигать 1 мм.

Точки на диске расположены по спирали, как и на обычной грампластинке, однако считывание идет от центра к краю с шагом между двумя соседними дорожками всего 1,6 мкм. Так как между считывающим устройством и диском нет механической связи, слежение за дорожкой обеспечивает электронное устройство с серводвигателем. Поскольку система записи-воспроизведения на компакт-дисках работает с очень высокой скоростью обработки информации, фотодиод должен обладать соответствующим быстродействием. Обычно в качестве фотоприемников в таких системах используют p-i-n фотодиоды.

2.4. Системы дистанционного управления

Одно из наиболее интересных практических применений фоточувствительных приборов — использование их в качестве приемников сигналов в системах дистанционного управления бытовой радиоаппаратурой — радиовещательными приемниками, телевизорами, магнитофонами, управляемыми моделями, игрушками и другими устройствами. Функции передатчика сигналов выполняет ИК светодиод, излучающий кодированную последовательность световых импульсов. Приемником служит фоточувствительный прибор, например фотодиод. Принятый сигнал после дешифрации и усиления подает на исполнительные механизмы, выполняющие различные функции, например включение и выключение телевизора, выбор телевизионной программы, регулирование громкости, яркости, контрастности изображения. Таким же образом можно регулиро-

вать скорость, изменять направление движения управляемой модели, подавать другие команды.

Система ДУ на основе ИК излучателя и приемника отличается от традиционного радиоканала простотой практического выполнения. Она работает при дневном и искусственном освещении, обеспечивает необходимую для практических целей дальность передачи сигналов.

Для ряда телевизоров ЗУСЦТ разработана система беспроводного дистанционного управления СДУ-15 [10]. Она позволяет включать и выключать телевизор, переключать телевизионные программы, регулировать яркость, контрастность, насыщенность изображения, изменять громкость звучания. Время регулирования от минимального до максимального значения (или наоборот) не превышает 12 с.

В состав СДУ входят автономный пульт управления ПДУ-15, а также приемник инфракрасного излучения ПИ-5 и модуль дистанционного управления МДУ-15, встроенные в телевизор. Управление телевизором возможно на расстоянии от 0,3 до 6 м. Угол действия СДУ в горизонтальной и вертикальной плоскостях равен ±30°, а «угол зрения» приемника в горизонтальной плоскости — ±45 °.

Для передачи сигналов управления используют 14 импульсов ИК излучения длительностью на 10 мкс. Особенность системы состоит в том, что вид передаваемой двоичной информации определяется длительностью временного интервала между импульсами. Последовательность сигналов СДУ показана на рис. 2.33. Логическому 0 соответствует интервал времени T=100 мкс, логической 1 — 2T=200 мкс.

Информация передается 11 импульсами. Кроме них каждый сигнал СДУ содержит в своем составе предварительный, запускающий и останавливающий импульсы. Пять импульсов отведены для передачи адреса и шесть — для пере-

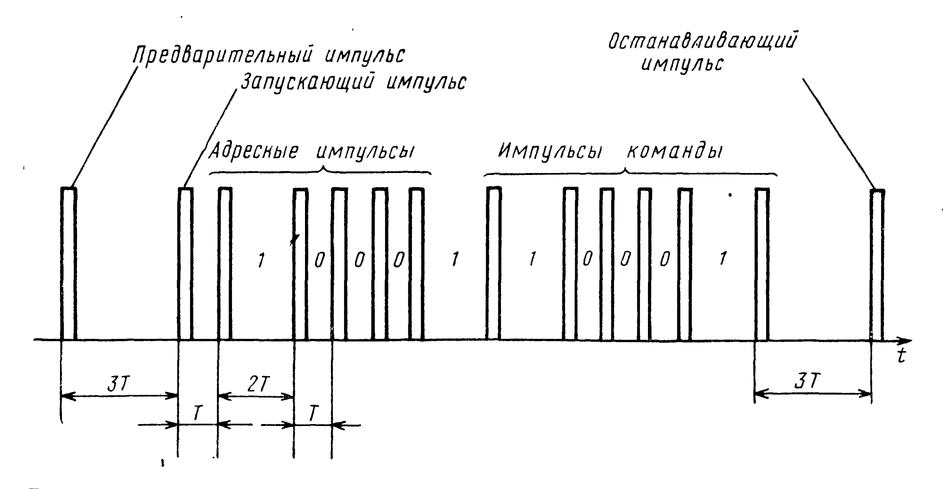


Рис. 2.33

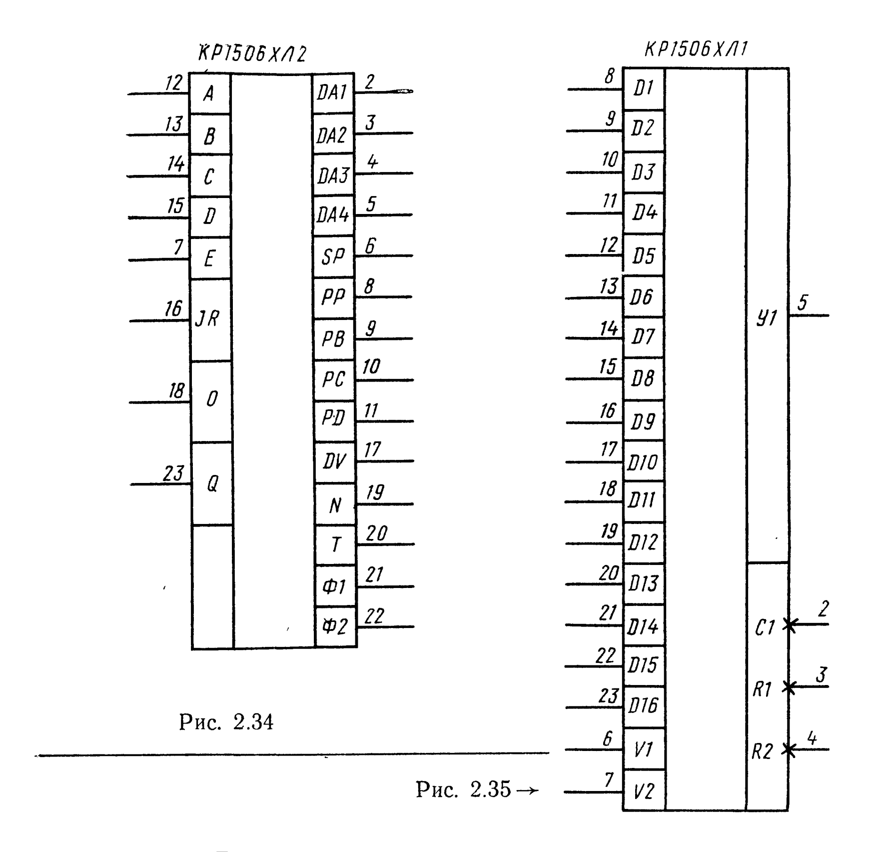


Рис. 2.34

Рис. 2.35→

дачи команды. После нажатия на соответствующую кнопку на пульте ДУ в зависимости от передаваемого адреса и команды длительность интервалов T или 2T будет изменяться. За последним информационным импульсом после интервала 3T следует останавливающий импульс.

Отечественной промышленностью разработан комплект микросхем, предназначенных для работы в системах инфракрасного дистанционного управления телевизионными приемниками (в том числе в системе СДУ-15), а также другой аппаратурой. В состав комплекта входят многофункциональная микросхема КР1506ХЛ1 и микросхема дистанционного управления КР1506ХЛ2. Они выполнены с использованием комплементарных МОП-транзисторов и заключены в полимерный корпус с перпендикулярным расположением выводов.

Напряжение питания микросхемы КР1506ХЛ1 — от 6 до 9 В, КР1506ХЛ2 — от 16,5 до 19,5 В.

Цоколевка микросхемы КР1506ХЛ2 показана на рис. 2.34: 1 — общий; 2—5 — выход ЦАП; 6 — выход коммутатора дополнительной памяти; 7, 12—15 прямой ввод данных; 16 — вход сигнала дистанционного управления; 17 — выход регистра вывода данных; 18 — вход устройства выбора режима работы; 19 — вы-

Основные электрические параметры микросхем

	КР1506ХЛ1	КР1506ХЛ2
Выходное напряжение логического 0, В, не более	1,5	—0,8
при выходном токе 1 мА и напряжении питания, В	6	—19,5
Выходное напряжение логической 1, В, при выходном токе 1 мА и напряжении питания 6 В, не менее	4	—
Потребляемый ток, мА, не более		40
при напряжении питания, В	—	—19,5
и частоте кварцевого резонатора, МГц	—	4,4336
Потребляемый ток при выключенном генераторе, мкА, не более	50	—
при напряжении питания, В	9	—
Потребляемый ток при включенном генераторе, мА, при напряжении питания, 9 В, не более	5,5	—
Длительность импульса управления точной настройки (на выводе 20), мкс:		
плюс	—	144
минус	—	36
Период следования импульсов на выходах ДА, мкс	—	56,9

ключатель; 20 — выход сигнала управления; 21, 22 — выход тактовых импульсов; 23 — вход задающего генератора; 4 — питание.

Цоколевка микросхемы КР1506ХЛ1 показана на рис. 2.35: 1 — общий; 2—4 — подключение; 5 — выход; 6, 7 — адресный вход; 8—23 — информационные входы; 24 — питание.

Принципиальная схема приемника инфракрасного излучения ПИ-5 пульта дистанционного управления ПДУ-15 изображена на рис. 2.36. Собственно приемником ИК сигналов служит фотодиод VD1. Транзистор VT1 представляет собой динамическую нагрузку фотодиода и предназначен для устранения влияния фона окружающего излучения.

Электрический сигнал усиливает предварительный усилитель на транзисторах VT2—VT5. Режим работы эмиттерного повторителя VT2 задан элементами R2, R5, VT1. Режим второй и третьей ступени по постоянному току определяют резисторы R7, R4, R3, R9, R10, а по переменному току — R7, R6, R10.

С эмиттера транзистора VT3 снимается сигнал частото-зависимой отрицательной ОС для подачи на базу транзистора VT1. Напряжение окружающего фона выделяет фильтр нижних частот R7, C2, R6, R4, C1, R3. Резистор R1 задает режим транзистора VT1 по току.

Выделенный на нагрузке третьей ступени (на резисторе R11) импульсный кодированный сигнал через разделительный конденсатор C4 поступает на амплитудный ограничитель VT5, VD2, необходимый для селекции сигнала на фоне шумов и помех с амплитудой ниже пороговой. Усиленный инвертированный сигнал через разъем X1 передается в блок дистанционного управления. Резистор R12 служит для закрывания транзистора VT5 в отсутствие сигнала, а диод VD2

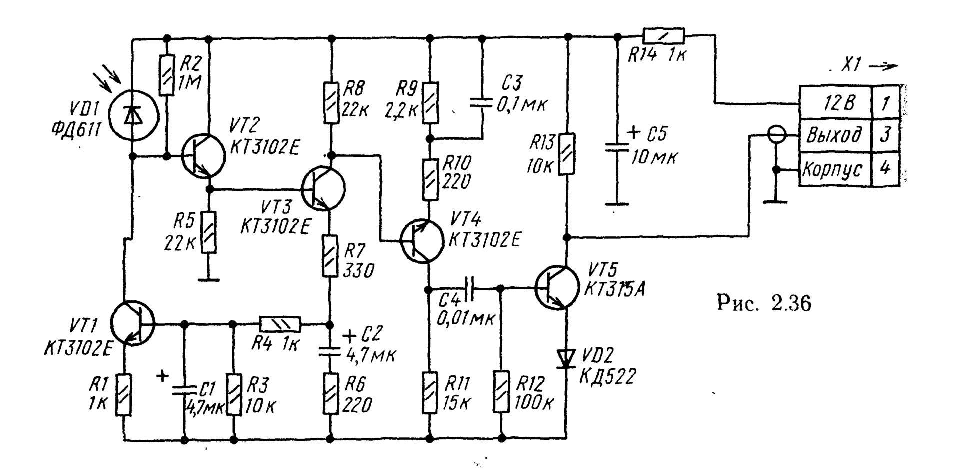


Рис. 2.36

обеспечивает температурную стабилизацию напряжения на коллекторе этого транзистора.

Микросхема КР1506ХЛ2 способна различать 31 команду. Принимаемые сигналы преобразуются в последовательный код. Можно увеличить число исполняемых команд с помощью дополнительных дешифраторов, подключаемых к информационному выходу. Каждый сигнал ДУ состоит из 10 информационных импульсов. Четыре первых импульса передают адрес, последующие шесть — команды.

С помощью микросхемы КР1506ХЛ1 можно формировать 1024 различных сигнала, которые могут быть организованы в 16 групп (адресов), состоящих из 64 команд. Предусмотрен режим использования команд для вызова подсистем, значительно расширяющий функциональные возможности системы ДУ.

2.5. Оптопары и оптоэлектронные микросхемы

С точки зрения функциональных возможностей оптопары позволяют решать те же задачи, что и отдельно взятые пары излучатель — фотоприемник, однако на практике они, как правило, более удобны, поскольку в них уже оптимально подобраны характеристики излучателя и фотоприемника и их взаимное расположение.

Если говорить о наиболее очевидном применении оптопары, не имеющем аналогов среди других приборов, так это элемент гальванической развязки. Оптопары (или, как их иногда называют, оптроны) применяют в качестве устройств связи между блоками аппаратуры, находящимися под различными потенциалами, для сопряжения микросхем, имеющих различные значения логических уровней. В этих случаях оптопара передает информацию между блоками, не имеющими электрической связи, и самостоятельной функциональной нагрузки не несет.

Не менее интересно применение оптопар в качестве элементов оптического бесконтактного управления сильноточными и высоковольтными устройствами.

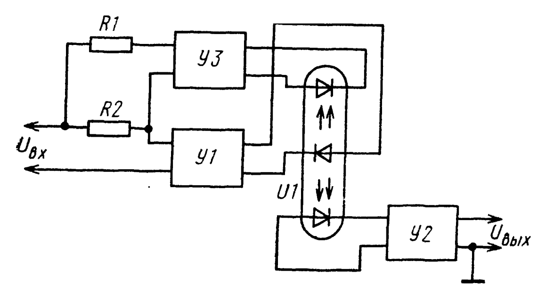


Рис. 2.37

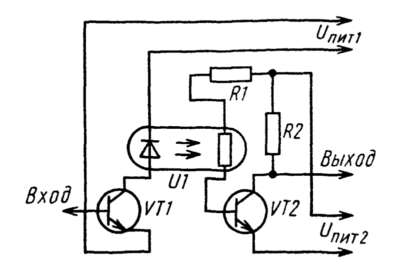


Рис. 2.38

На оптопарах удобно строить узлы запуска мощных тиратронов, распределительных и релейных устройств, устройство коммутации электропитания и т. п.

Оптопары с открытым оптическим каналом упрощают решение задач контроля параметров различных сред, позволяют создавать различные датчики (влажности, уровня и цвета жидкости, концентрации пыли и т. п.).

Пример гальванической развязки, реализуемой с помощью дифференциальной оптопары, показан на рис. 2.37. Оптопара имеет общий излучатель и два фотоприемника. Если коэффициенты передачи сигнала от излучателя к обоим фотоприемникам одинаковы, а также равны коэффициенты усиления усилителей У2 и У3, то коэффициент передачи всего узла в целом будет стабилен и приблизительно равен 1+R2/R1. В таких узлах удобно использовать дифференциальные оптопары КОД301А, КОД303А.

На рис. 2.38 представлена схема двуступенного транзисторного усилителя с оптоэлектронной связью. Изменение тока коллектора транзистора VT1 вызывает соответствующее изменение тока светодиода оптопары U1 и сопротивления ее фоторезистора, который включен в цепь базы транзистора VT2. На нагрузочном резисторе R2 выделяется усиленный выходной сигнал. Применение оптопары практически полностью устраняет передачу сигнала с выхода на вход усилителя.

Оптопары удобны для межблочной гальванической развязки в радиоэлектронной аппаратуре. Пример схемы гальванической развязки двух блоков показан на рис. 2.39. Сигнал с выхода блока 1 передается на вход блока 2 через диодную оптопару U1. Если в качестве второго блока использована интегральная микросхема с малым входным током, необходимость использования усилителя отпадает, а фотодиод оптопары в этом случае работает в фотогенераторном режиме.

Оптопары и оптоэлектронные микросхемы применяют в устройствах передачи информации между блоками, не имеющими замкнутых электрических связей. Применение оптопар существенно повышает помехоустойчивость каналов связи, устраняет нежелательные взаимодействия развязываемых устройств по цепям питания и общему проводу. Цепи сопряжения с применением оптопар широко используют в вычислительной и измерительной технике, в устройствах автоматики, особенно когда датчики или другие приемные устройства работают в условиях, опасных или недоступных человеку.

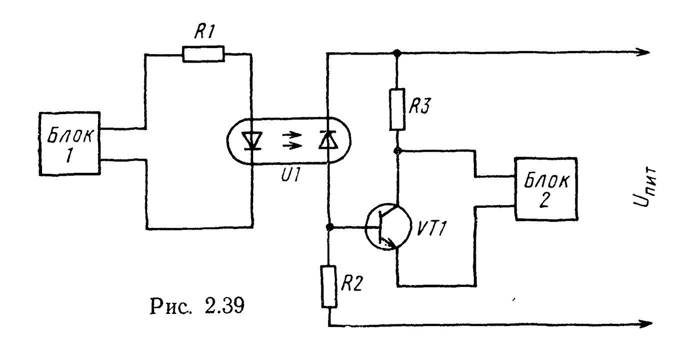


Рис. 2.39

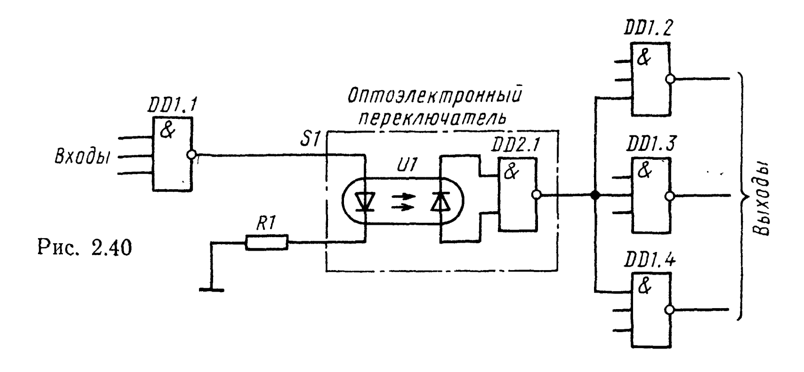


Рис. 2.40

Пример реализации связи гальванически независимых логических элементов с помощью оптоэлектронного переключателя показан на рис. 2.40. Оптоэлектронным переключателем может служить микросхема К249ЛП1, в состав которой входят бескорпусная оптопара и стандартный вентиль.

Оптопары позволяют упрощать решение задач сопряжения блоков, разнородных по функциональному назначению, характеру питания, например исполнительных механизмов, питаемых от сети переменного тока, и цепей формирования управляющих сигналов, питаемых от низковольтных источников постоянного тока.

Большую группу задач представляет также согласование цифровых микросхем с разными видами логики (ТТЛ, ЭСЛ, КМОП и др.). Пример схемы согласования элемента ТТЛ с МДП с помощью транзисторной оптопары показан на рисунке 2.41. Входная и выходная ступени не имеют общих электрических цепей и могут работать в самых различных условиях и режимах.

Идеальная гальваническая развязка нужна во многих практических случаях, например в медицинской диагностической аппаратуре, когда датчик прикреплен к телу человека, а измерительный блок, усиливающий и преобразующий сигналы датчика, подключен к сети. При неисправности измерительного блока может возникнуть опасность поражения человека электрическим током.

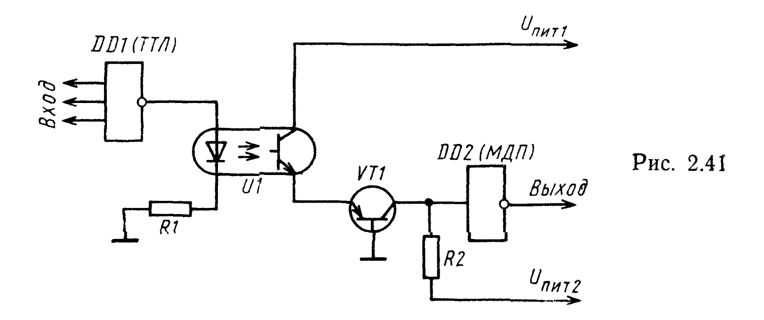


Рис. 2.41

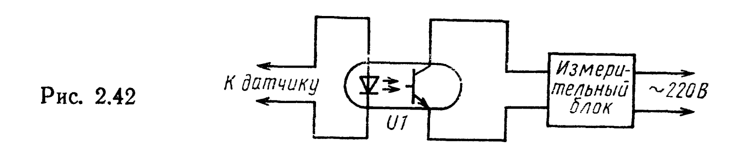


Рис. 2.42

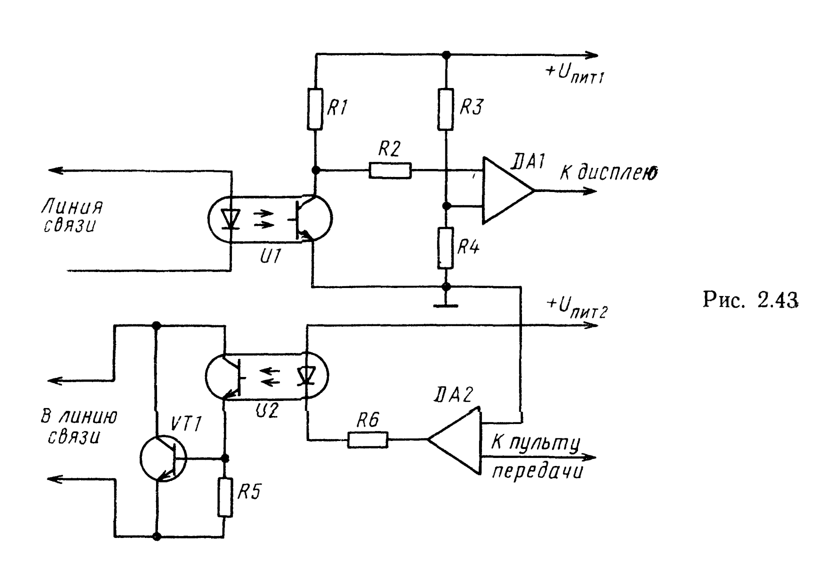
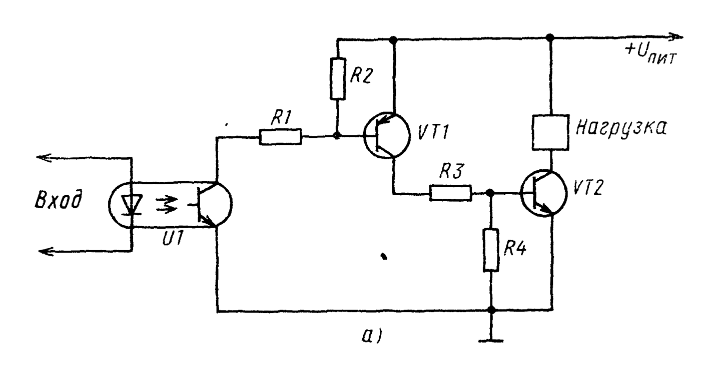


Рис. 2.43



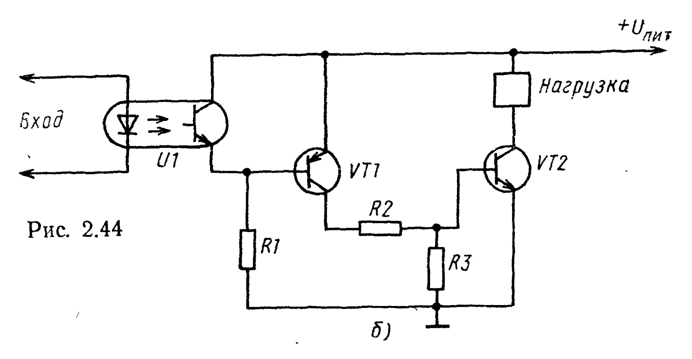


Рис. 2.44

Собственно датчик питается от отдельного низковольтного источника питания и подключается к измерительному блоку через развязывающую оптопару (рис. 2.42).

Оптопары удобны и в других случаях, когда «незаземленные» входные устройства приходится сопрягать с «заземленными» выходными устройствами. Примерами таких задач могут служить соединение линии телетайпной связи с дисплеем, «автоматический секретарь», подключаемый к телефонной линии, и т. п. На рис. 2.43, а показана схема сопряжения линии связи с дисплеем. Операционный усилитель обеспечивает требуемый уровень сигналов на входе дисплея. Аналогично можно связать передающий пульт с линией связи (2.43, б).

Усиленные сигналы фотоприемника удобно передавать на исполнительные механизмы (например, электродвигатели, реле, источники света и т. п.) через оптоэлектронную гальваническую развязку. Примерами такой развязки могут служить два варианта наиболее распространенных полупроводниковых реле (разомкнутое и замкнутое), принципиальные схемы которых показаны на рис. 2.44, б. Реле коммутирует сигналы постоянного тока. Сигнал, воспринимаемый фототранзистором оптопары, открывает транзисторы VT1, VT2 и включает нагрузку (рис. 2.44, а) или отключает ее (2.44, б).

Импульсный трансформатор — весьма распространенный элемент современной радиоэлектронной аппаратуры. Его используют в различных генераторах

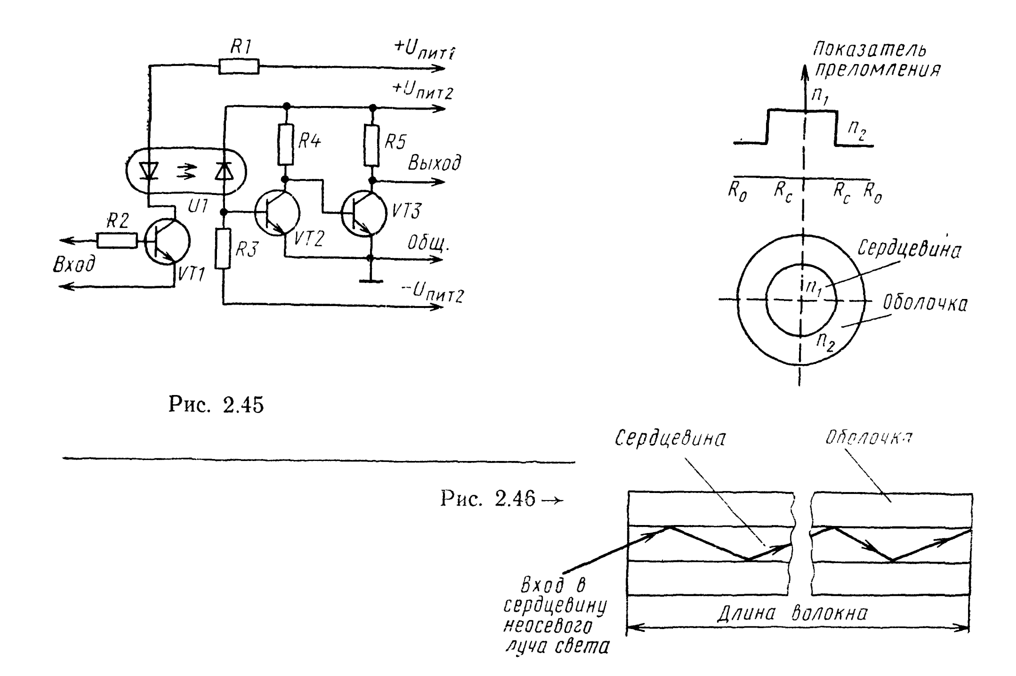


Рис. 2.45

Рис. 2.46 →

импульсов, усилителях мощности импульсных сигналов, каналах связи, телеметрических системах, телевизионной технике и т. п. Традиционное конструктивное исполнение импульсного трансформатора с применением магнитопровода и обмоток не совмещается с технологическими решениями, используемыми в микроэлектронике. Частотная характеристика трансформатора во многих случаях не позволяет удовлетворительно воспроизводить как низко-, так и высокочастотные сигналы. Практически идеальный импульсный трансформатор можно изготовить на базе диодной оптопары. Схема оптоэлектронного трансформатора с диодной оптопарой изображена на рис. 2.45. Транзистор VT1 управляет светодиодом оптопары U1. Сигнал, генерируемый фотодиодом, усиливают транзисторы VT2 и VT3.

Длительность фронта импульсов в значительной степени зависит от быстродействия оптопары. Наиболее высоким быстродействием обладают фотодиоды p-i-n структуры. Время нарастания и спада выходного импульса не превышает нескольких десятков наносекунд.

На основе оптопар разработаны и выпускаются оптоэлектронные микросхемы, имеющие в своем составе одну или несколько оптопар, а также согласующие микроэлектронные схемы, усилители и другие функциональные элементы.

Совместимость оптопар и оптоэлектронных микросхем с другими стандартными элементами микроэлектроники по уровням входных и выходных сигналов, напряжению питания и другим параметрам определили необходимость нормирования специальных параметров и характеристик.

2.6. Фоточувствительные приборы в волоконно-оптических устройствах

Фотоприборы весьма перспективны для применения в различных волоконно-оптических устройствах, в частности, предназначенных для связи и передачи информации. Особенностью таких устройств является возможность подачи оптического сигнала на вход фотоприбора по волоконному световоду. Принципиальное достоинство волоконно-оптических систем — высокая скорость передачи информации, широкая полоса пропускания передающего тракта, малые потери информации.

Замена металлических проводников волоконными световодами позволяет работать на частоте оптического диапазона, в тысячи раз более высокой, чем частота радиодиапазона; волоконные световоды защищены от вредного воздействия окружающего электромагнитного излучения.

В общем случае в оптической линии связи можно выделить три основные категории устройства: источник света с узлом его возбуждения, собственно световоды, фотоприбор с приемным узлом.

Источник света (лазерный диод или обычный светоизлучающий диод) преобразует электрический сигнал в оптический, по световоду оптический сигнал передается на заданное расстояние, фотодетектор (как правило, p-i-n фотодиод или лавинный фотодиод) преобразует этот сигнал в электрический. Световоды из волокна с высоким содержанием кварца имеют исключительно малые потери — около 0,5 дБ/км. В линиях связи, имеющих большую протяженность, все же приходится применять усилители-повторители, компенсирующие затухание оптического сигнала.

Для эффективного введения излучения в световод используют фокусирующие линзы. В профессиональных линиях связи используют дополнительные устройства — оптические ответвители, мультиплексоры — демультиплексоры волны, обеспечивающие возможность передачи через один световод группы сигналов с различными значениями длины волны, звездообразные соединители, оптические переключатели, оптические модуляторы и др.

Простейший световод состоит из внутренней области, называемой сердцевиной, и окружающей ее оболочки. На рис. 2.46 показаны схема поперечного сечения световода и зависимость показателя преломления от расстояния от центра волокна. При расстоянии, равном R_c, показатель преломления резко изменяется. Вдоль оси сердцевины свет распространяется прямолинейно. Неосевые лучи многократно отражаются обратно в сердцевину от поверхности раздела сердцевины оболочки и проходят зигзагообразный путь. Показатель преломления у сердцевины больше, чем у оболочки. Вообще говоря, оболочкой мог бы служить и воздух, имеющий показатель преломления 1, но твердая оболочка механически фиксирует сердцевину и предохраняет ее от возможных повреждений. Типичные значения показателя преломления сердцевины и оболочки равны $n_1=1{,}48$ и $n_2=1{,}46$. Диаметр сердцевины обычно 50 мкм, оболочки — 125 мкм и более.

Минимальный угол, при котором происходит полное внутреннее отражение, определяется выражением

$$\sin\theta_{min}=n_2/n_1,$$

или $\theta_{min}=80{,}6°$.

Лучи, падающие на поверхность раздела сердцевина—оболочка под углом, меньшим 80,6° рассеиваются в оболочке.

Хотя можно считать, что в задачи радиолюбителей разработка протяженных оптических линий связи пока не входит, существует ряд практических применений световодов, доступных по устройству, но не менее интересных и весьма полезных. Примеры таких применений показаны на рис. 2.22, 2.23. Здесь относительно короткие отрезки световодов использованы для оптического сопряжения свето- и фотодиодов, расположенных в различных местах конвейерной линии. Создание подобных устройств посильно любому радиолюбителю.

Широкие возможности использования световодов представляют собой различные электронные игрушки, управляемые модели, простые работы. Эти примеры взяты из промышленной сферы, но они представляют известный интерес для радиолюбителей. Здесь существенно менее жестки требования к уровню шумов, затуханию в линиях передачи, к согласованию излучателя со стекловолокном, кабеля с фотодетектором и т. п.

По внешнему виду стекловолоконный кабель напоминает обычный телевизионный кабель, в котором центральный провод — сердцевина стекловолоконного, а медная оплетка — оболочка стекловолокна. Существуют промышленные разъемы для соединения кабелей с объектами, узлами линий. Они также внешне похожи на разъемы телевизионных кабелей. Конструктивная схема оптического соединителя волоконного световода показана на рис. 2.47, а.

В радиолюбительских конструкциях можно обойтись и без таких соединителей. На рис. 2.47, б показан пример непосредственного соединения лазера с волоконным световодом. В таком случае потери излучения не превышают 7 дБ, что для «коротких» линий связи можно считать несущественным.

И кабель, и его сердцевину можно аккуратно изогнуть, чтобы подвести световод к любому нужному месту. При этом надо соблюдать несколько простых правил. Радиус изгиба сердцевины не должен превышать 10 мм (рис. 2.48). Концы сердцевины, выходящие из кабеля и подводимые к объекту, на расстоя-

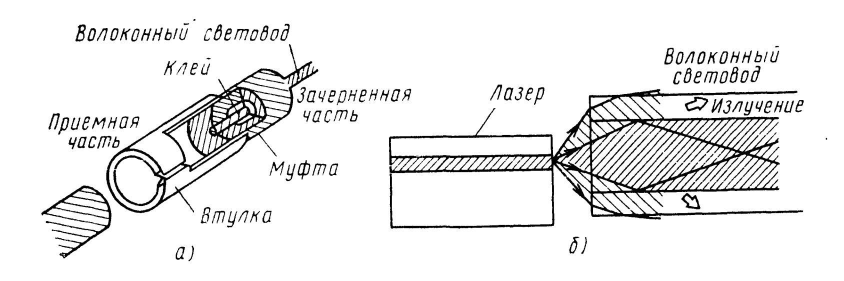


Рис. 2.47

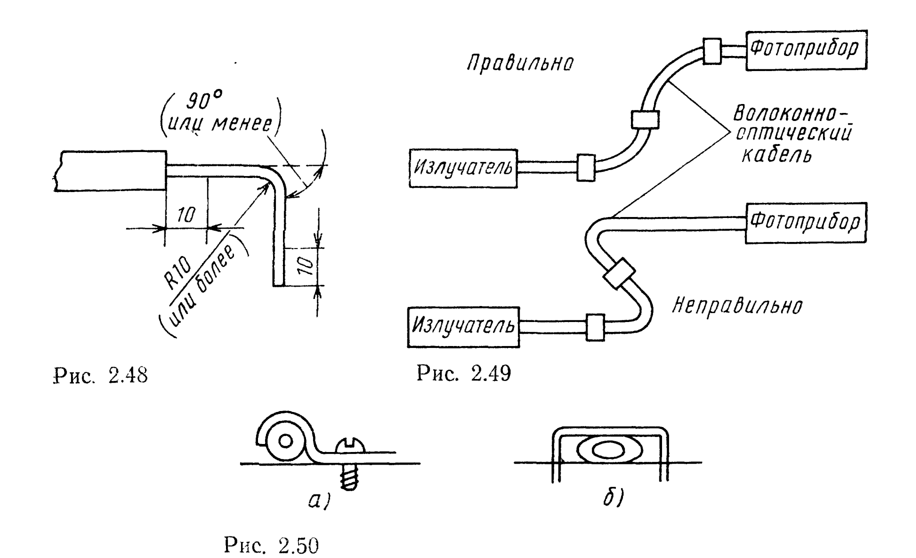


Рис. 2.48

Рис. 2.49

Рис. 2.50

нии 10 мм должны оставаться прямыми. Не допускается резко изгибать кабель, что может нарушить его целостность или в лучшем случае резко увеличить потери в нем (рис. 2.49). При креплении кабеля к панели нельзя сминать кабель. На рисунке показано, как следует (рис. 2.50, а) и как не следует (рис. 2.50, б) закреплять кабель.

Следует отметить, что существуют световоды, конструктивно выполненные в виде спиралей (подобно телефонным шнурам), которые удобно применять в линиях связи с перемещающимися объектами. Большой интерес для практического применения представляют многоволоконные световоды, в которых объединены несколько десятков и даже сотен волокон. Для неискаженной передачи изображения по такому световоду расположение концов световодов на выходе должно точно соответствовать их расположению на входе. На рис. 2.51 показана схема передачи изображения по такому световоду. Изображение вводят

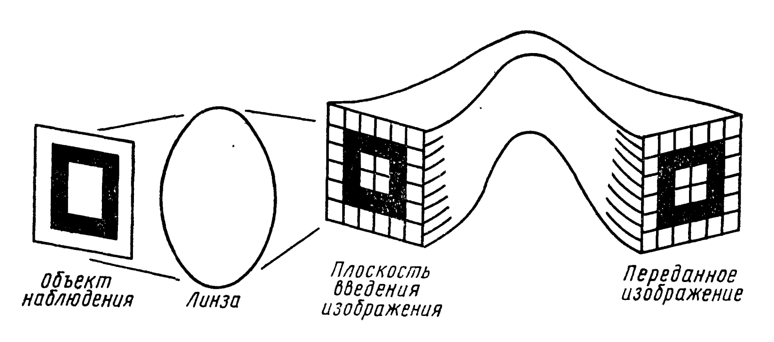


Рис. 2.51

в него через оптическую линзу. Разрешающая способность такого тракта весьма велика и пригодна для многих случаев применения. Например, если принять, что диаметр одного волокна равен 50 мкм, то на строчке изображения длиной 1 см можно обеспечить 200 элементов.

Устройства передачи изображения с многоволоконными световодами позволяют исследовать объекты, прямое наблюдение которых затруднено или невозможно, например в медицинских исследованиях (состояние внутренних органов), контроль внутренних частей двигателей, атомных реакторов и т. п.

Вследствие оптических потерь между передатчиком и приемником только часть мощности источника излучения поступает на фотодетектор. Потери обычно имеют место на этапе введения излучения, в стыках, в самом волокне и при выведении излучения.

Потери введения излучения происходят в месте сопряжения источника света с волокном. Они существенны, если площадь сердцевины световода меньше излучающей поверхности. Грубо можно считать, что значение этих потерь равно площади сердцевины, деленной на излучающую поверхность. Другим обстоятельством, влияющим на эти потери, является способность волокна собирать свет. Свет, поступивший под углом, меньшим половины угла приемного конуса сердцевины, распространяется по волокну. Часть света, пришедшая под большим углом, теряется в оболочке. Для волокна со ступенчатым изменением показателя преломления полуугол приемного конуса примерно равен 14,5°.

Потери также зависят от формы диаграммы направленности источника излучения. Лазерные и светоизлучающие диоды дают широко расходящиеся пучки света, поэтому обилие света на границе источник света — волокно не обязательно играет положительную роль. Практически зазор между излучающей поверхностью и торцом волокна не должен превышать 2 ... 4 диаметров его сердцевины.

Требования к источникам излучения для цифровых и аналоговых систем связи несколько различны. В первом случае применяют малоинерционные источники сигналов, во втором — необходимо обеспечить линейную зависимость оптической мощности от тока или напряжения возбуждения в широком динамическом диапазоне. Для аналоговых систем удобны светодиоды.

Необходимо обеспечить также спектральную совместимость источника света и волокна. Стеклянные волокна имеют две области минимального ослабления сигнала: от 800 до 850 нм и вблизи 1050 нм. Наиболее распространенные типы светодиодов обеспечивают мощность выходного сигнала около 1 мВт в интервале длины волны 800 ... 850 нм. При более длинноволновом источнике (около 1050 нм) мощность уменьшается до 0,1 ... 0,2 мВт. Твердотельные лазерные диоды имеют узкую диаграмму направленности по сравнению со светодиодами и отдают выходную мощность 5 ... 10 мВт. К числу недостатков лазерных диодов относятся сильная температурная зависимость выходной мощности и нелинейность ее изменения с уровнем возбуждения.

На рис. 2.52 показаны схемы узлов прямого возбуждения источников света: узла аналоговой модуляции интенсивности излучения (рис. 2.52, а) и узла с полевым транзистором, применяемого для импульсной модуляции (рис. 2.52, б).

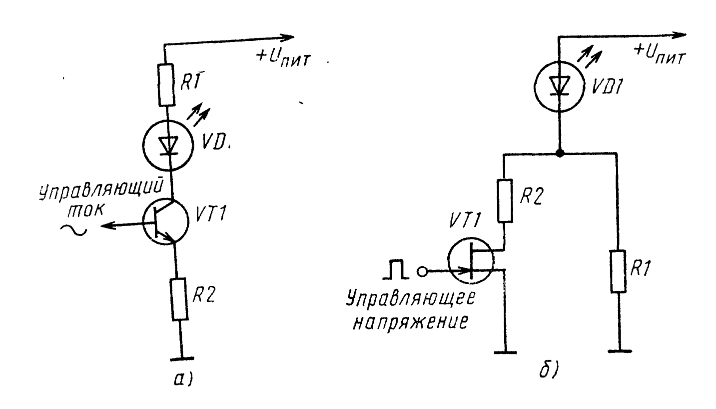


Рис. 2.52

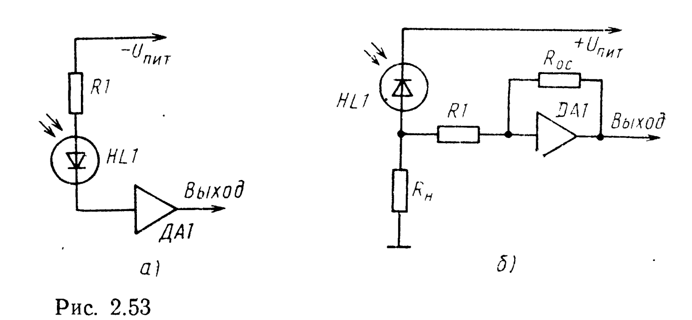


Рис. 2.53

Во втором узле при использовании лазерного светодиода VD1 резистором R1 устанавливают ток смещения, несколько меньшем порога лазерной генерации, с тем, чтобы повысить скорость переключения.

На рис. 2.53, а представлена схема включения p-i-n или лавинного фотодиода с трансимпедансной связью с применением ОУ. В устройстве, схема которого показана на рис. 2.53, б, для увеличения падения напряжения на резисторе $R_н$ также использован ОУ. Сопротивление резистора $R_н$ обычно выбирают равным 5 МОм.

2.7. Общие рекомендации по применению фоточувствительных приборов

Фотоэлектрические параметры фотоприборов зависят от схемы включения, способа подачи и значения питающего напряжения, сопротивления нагрузки и температуры. Повышение сопротивления нагрузки и напряжения питания позволяет несколько увеличивать чувствительность прибора, однако при этом увеличивается и уровень его шума.

Полярность питающего напряжения должна соответствовать указанной в паспорте прибора. Это требование относится и к некоторым типам фоторезисторов, несмотря на то, что они относятся к униполярным приборам.

В радиолюбительских конструкциях фотоприборы работают, как правило. далеко от порога чувствительности и предельная обнаружительная способность часто остается нереализованной. При эксплуатации фотоприборов нельзя допускать их нагревания как из-за повышения рассеиваемой мощности, так и из-за ухудшения теплоотведения. При повышении температуры корпуса прибора и р-n перехода увеличивается уровень собственных шумов прибора, а обнаружительная способность, и темновое сопротивление уменьшаются. Максимум спектральной характеристики сдвигается в более коротковолновую область.

Требование полного совпадения максимума относительной спектральной чувствительности фоточувствительного прибора и источника излучения возникает в тех случаях, когда фоточувствительный прибор работает в режиме, близком к пороговому (на уровне шума). При высокой мощности излучения, что практически реализуют весьма часто, необходимости выполнения этого требования нет; важно лишь, чтобы спектральные характеристики излучателя и фотоприбора имели общий участок на шкале длины волны. Например, максимум излучения Солнца соответствует длине волны 0,55 мкм, но на это излучение реагируют все фотоприемники, поскольку спектр излучения Солнца как абсолютно черного тела лежит в пределах 0 ... ∞ и таким образом перекрывает спектр чувствительности всех типов приборов.

В высокочувствительной аппаратуре фотодиоды желательно применять в фотогальваническом режиме. При этом они обеспечивают бо́льшую обнаружительную способность, чем другие приборы, при одинаковых спектральных интервалах чувствительности. Верхняя граничная частота модуляции излучения служит основанием для выбора прибора с соответствующей постоянной времени. Наименьшей постоянной времени обладают p-i-n фотодиоды и лавинные фотодиоды.

Если несколько пар излучатель—фотоприбор расположены на небольшом расстоянии одна от другой, то возможны взаимные помехи и прием сигналов от смежных излучателей. Поэтому рекомендуется эти пары разносить возможно дальше, а излучатели и фотоприборы располагать встречно (рис. 2.54, а). Целесообразно также использовать бленды или защитные диаграммы, причем круглая форма отверстий в них предпочтительна.

На рис. 2.54, б показаны примеры правильного и неправильного взаимного расположения излучателя, фотоприбора и объекта, подлежащего счету или определению размеров. Поверхность, вблизи которой располагаются излучатель и фотоприбор, должна быть по возможности плохо отражающей, иначе возможен обходной путь для луча. При необходимости следует перекрывать пути нежелательного распространения излучения.

Во избежание нежелательного воздействия источников постороннего излучения необходимо защищать фотоприбор от таких источников (рис. 2.54, в), а также соблюдать оптимальные соотношения между параметрами используемых оптических линз, очевидные из рис. 2.55.

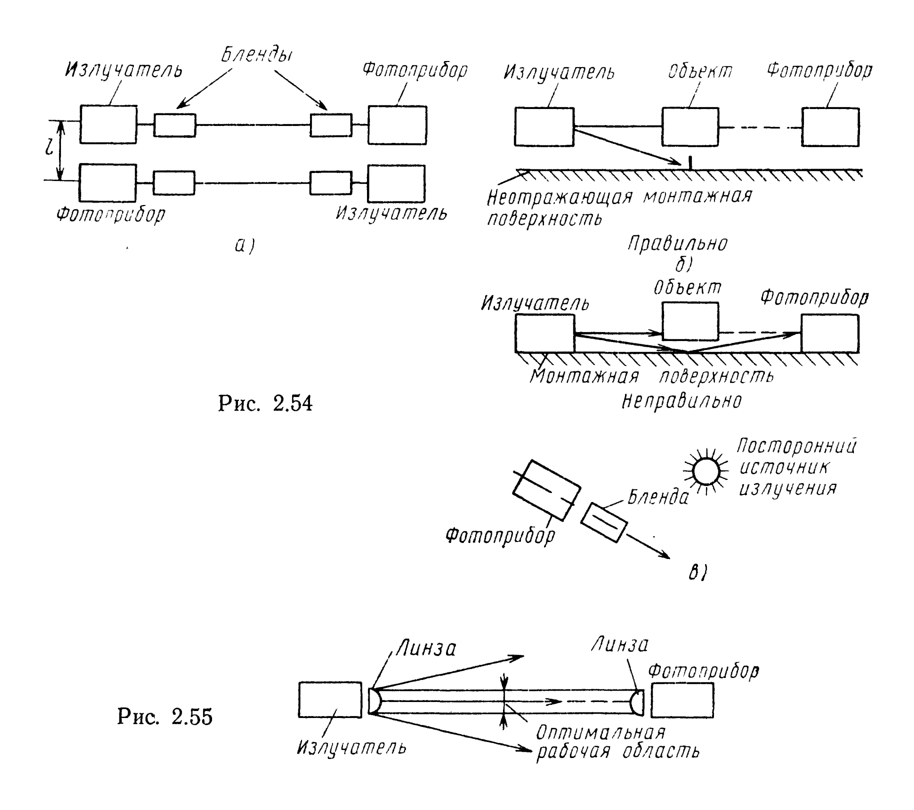


Рис. 2.54

Рис. 2.55

Нарушение прозрачности среды, например задымленность, а также использование бленд, диафрагм уменьшает чувствительность фотоприемного тракта практически в 2 ... 4 раза.

3. СПРАВОЧНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

3.1. Фоторезисторы

Фоторезисторы, изготовленные на основе сульфида кадмия, работают в интервале длины волны 0,3 ... 0,9 мкм. Из представленной ниже номенклатуры фоторезисторы СФ2-18 и СФ2-19 применяют в качестве приемников ультрафиолетового излучения.

Фоторезисторы ФСК-Г1, ФСК-Г2, ФСК-Г7а, ФСК-Г7б, ФПФ-7А, ФПФ-7Б, ФПФ-7В, ФПФ-9-2, ФР-118, ФР-765, СФ2-4, СФ2-5, СФ2-8, СФ2-9, СФ2-12, СФ2-16, СФ2-18, СФ2-19 оформлены в герметизированном металлостеклянном корпусе. Фоторезисторы ФСК-1, ФСК-1б, ФСК-2, ФСК-6, ФСК-4 и ФСК-Г2 рас-

Таблица 3.1. **Основные параметры фоторезисторов**

Фоторезистор	Параметр		
	Размеры фоточувствительного элемента, мм (число элементов), мм	Рабочее напряжение U_p, В, не более	Темновое сопротивление $R_т$, МОм, не менее
1	2	3	4
			Сульфид кадмия
ФСК-0	4×7,2	50	1
ФСК-1	4×7,2	50	3,3
ФСК-1а	4×8,4	50	3,3
ФСК-1б	0,8×7,2	2,5	0,18
ФСК-2	4×7,5	50	3,3
ФСК-3	2×6	100	2,5
ФСК-4	4×6	50	3
ФСК-4а	2,8×45	50	1,6
ФСК-5	0,9×1,2	25	5
ФСК-6	∅15 с отв. ∅5	50	3,3
ФСК-7а	17×7 (2)	50	0,5
ФСК-7б	19×3,2 2(2)	10	0,1
ФСК-Г1	4×7,2	50	3,3
ФСК-Г2	4×7,2 (2)	50	1,6
ФСК-Г7а, б	17×6,5 (2)	50	5
ФР-765	∅5,8	20	2
ФСК-П1а, б	2×6	100	100
ФСК-М1	1×2	70	10
ФСК-М2	1,1×1,5	70	10
СФ2-1	0,5×1,5	15	15
СФ2-2	6×12	2	1
СФ2-4	0,15×1,5	15	10
СФ2-5	∅5,8	1,3	1
СФ2-8	∅5,8	150	100
СФ2-9	3,5×6	25	3,3
СФ2-12	0,3×1,5 или 0,75×1,5 (3)	5	15
СФ2-16	0,25×3,4	10	3,3
ФПФ-7-1	3,7×2	6	1
ФПФ-7А	3,7×2	6	1
ФПФ-7Б	3,7×2	6	1
ФПФ-7В	3,7×2	6	1
ФПФ-9-2	4,5×3,5	6	1
ФР—118 (ФПФ-7-2)	3,7×2	6	0,3
СФ2-18	2×7	100	10
СФ2-19	0,35×35	5	0,25
			Селенид кадмия
ФСД-1	4×7,2	20	2
ФСД-1а	4×8,4	20	2
ФСД-Г1	4×7,2	20	2
ФСД-Г2	4×7,2	20	2

Темновой ток $I_т$, мкА, не более	Общий ток $I_{общ}$ при E=200 лк, мА, не менее	Отношение темнового сопротивления к световому $R_т/R_{св}$, отн. ед., не менее	Максимальная мощность излучения P_{max}, мВт, не более	Масса, г, не более
5	6	7	8	9
15	15	140	100	1,5
15	15	100	125	4,5
15	1,5	100	125	1,2
5...8	0,25...0,8	—	12,5	4,5
15	0,3	20	125	3,2
40	0,4	10	100	10
20	2	50	150	6
35	0,7	50	100	10
5	0,08	17	25	0,03
15	1,5	100	125	5
100	0,36	3,5	350	2,5
100	0,8	8	350	2,5
15	1,5	100	125	7
30	2,5	80	250	20
10	1	100	350	10
10	1,5	150	50	5
1,0	1	1000	150	0,7
0,01	0,01	1000	30	4,5
1	1	1000	30	10
1	0,5	500	10	0,5
1	0,5	500	50	1
1	0,2 (E=300 лк)	200	10	2
5	0,5	100	25	2
1	1	1000	125	2
7,5	0,24	30	125	—
0,3	0,2 (E=300 лк)	600	10	20
3	0,3	100	10	1
6	0,3 (E=10 лк)	50	50	1
6	0,4 (E=10 лк)	70	50	1
6	0,24 (E=10 лк)	40	50	1
6	0,06 (E=10 лк)	10	50	1
6	0,3 (E=4 лк)	50	50	1
20	0,28 (E=10 лк)	14	50	1,5
	0,5 (E=200 мкВт/см²)		50	3
	1 (P=200 мкВт/см²)		50	3
10	1,5	150	50	3
10	1,5	150	50	1,2
10	1,5	150	50	7
10	1,5	150	50	20

1	2	3	4
ФР-764	5,8	50	3,3
СФ3-1	0,5×1,5	15	30
СФ3-2	6×12	5	5
СФ3-2А	5,8	10	5
СФ3-2Б	5,8	10	100
СФ3-3	10×10	10	10
СФ3-4А	5,8	1,5	1
СФ3-4Б	5,8	1,5	15
СФ3-5	5,8	2	2
СФ3-7А	2×5,8 или 1×5,8	20	20
СФ3-7Б	2×5,8 или 1×5,8	20	2000
СФ3-8	2×5,8	20	20
СФ3-9А	2,5×5,8	50	2,5
СФ3-9Б	2,5×5,8	50	5000
СФ3-16	0,25×1,8	10	10
			Сульфид свинца
ФСА-0	4×7	4...40	0,04...0,4
ФСА-1	4×7,5	2...50	0,02...1
ФСА-1А	4×7,5	2...50	0,02...1
ФСА-4	4×6	4...40	0,04
ФСА-6	∅14 с отв. ∅ 5	5...30	0,047...0,33
ФСА-Г1	4×10	4...40	0,02...1
ФСА-Г2	8×12	4...40	0,047...0,47
ФР1-3	1×5,8	15	0,047...0,33
ФР1-4	3×5,8	25	0,22...1
			Селенид свинца
СФ4-1А	1×1	2,5...10	1
СФ4-2А	2×2	2,5...10	1
СФ4-3А	3×3	2,5...10	1
СФ4-1Б	1×1	2,5...5	0,6
СФ4-2Б	2×2	2,5...5	0,6
СФ4-3Б	3×3	2,5...5	0,6
СФ4-1В	1×1	2,5...10	0,4
СФ4-2В	2×2	2,5...10	0,4
СФ4-3В	3×3	2,5...10	0,4
СФ4-1Д	1×1	2,5...5	0,2
СФ4-2Д	2×2	2,5...5	0,2
СФ4-3Д	3×3	2,5...5	0,2

считаны на подключение с помощью октальной панели. Фоторезисторы ФСК-0, ФСК-1а, ФСК-5, ФСК-7а, ФСК-7б выпускают в бескорпусном исполнении. Для включения этих приборов следует применять прижимные контакты. Фоторезисторы ФСК-7а, ФСК-7б, ФСК-17а и ФСК-Г7б имеют по три вывода, что позволяет использовать их в дифференциальных узлах. Фоторезисторы ФР-765 взаимозаменяемы с ФСК-1, ФСК-2, ФСК-Г1 и ФСК-Г2.

Окончание табл. 3.1

5	6	7	8	9
10	1,5	150	125	5
0,5	0; 75	1500	10	0,5
1	0,5	500	100	1
2	3	1500	50	2
0,1	1,5	1500	50	2
0,3	0,3	1000	50	2
1,5	2	1300	25	2
0,1	1,2	12000	25	2
1	0,5	500	50	2
1	2	2000	50	2
0,01	1,2	$1{,}2 \cdot 10^5$	50	2
1	0,5	500	25	2
—	3	$1.5 \cdot 10^4$	100	2
—	1,5	$1{,}5 \cdot 10^6$	100	2
1	1,5	500	10	1
—	—	1,2	10	4,5
—	—	1,2	10	4,5
—	—	1,2	10	1,2
—	—	1,2	10	5
—	—	1,1	10	5
—	—	1,2	10	7
—	—	1,2	10	2
—	—	—	6	5
—	—	—	8	5
—	—	—	—	—
—	—	—	—	—
—	—	—	—	—
—	—	—	—	—
—	—	—	—	—
—	—	—	—	—
—	—	—	—	—
—	—	—	—	—
—	—	—	—	—
—	—	—	—	—
—	—	—	—	—
—	—	—	—	—

К фоторезисторам на основе селенида кадмия относят приборы групп ФСД, СФ2, СФ3, СФ4 (и ФР-764). Фоторезистор ФСД-1а выпускают в бескорпусном исполнении без выводов; по внешнему виду он аналогичен ФСК-0. Фоторезисторы ФСД-1, СФ3-1, СФ3-2 имеют пластмассовый корпус. Фоторезисторы ФСД-Г1, ФСД-Г2, ФР-764, СФ3-2Б, СФ-4А, СФ3-4Б, СФ3-5, СФ3-7А,

Таблица 3.2. **Основные параметры кремниевых фотодиодов**

Фотодиод	Размеры фоточувствительного элемента, мм	Диапазон спектральной характеристики $\Delta\lambda$, мкм	Максимальная спектральная характеристика λ_{max}, мкм
ФДК-1	∅1	0,5...1,1	0,8...0,9
ФДК-1В	∅1	0,5...1,1	0,8...0,9
ФД-3К	∅1,13	0,5...1,1	0,8...0,9
ФД-6К	1,9×1,9	0,4...1,1	0,82...0,86
ФД-7К	∅10	0,4...1,1	0,82...0,86
ФД-8К	2×2	0,5...1,12	0,85...0,92
ФД-9К	4,4×4,4 или 5,6×5,6	0,5...1,12	0,85...0,92
ФД-10К	1,9×1,9	0,5...1,12	0,85...0,92
ФД-10КП	∅0,5	0,5...1,05	0,82...0,92
ФД-11К	∅2,5	0,5...1,15	0,88...0,94
ФД-17К	∅10	0,55...1,1	0,85...0,92
ФД-18К	∅10	0,47...1,1	0,85...0,92
ФД-19КК	1×1(4)	0,5...1,1	0,75...0,8
ФД-20КП	2×2(4)	0,5...1,1	0,85...0,92
ФД-20-30К	1,5×1,5(2)	0,5...1,1	0,85...0,95
ФД-20-31К	∅1,4	0,47...1,17	0,78...0,82
ФД-20-32К	2×1,35(2)	0,45...1,06	0,78...0,92
ФД-20-33К	0,3×1,4 и 0,4×1,4 по 2 элемента	0,45...1,9	0,72...1
ФД-21-КП	∅1,55	0,4...1,1	0,72...0,85
ФД-22-КП	1×1(4)	0,45...1,1	0,75...0,9
ФД-23К	1,9×1,9	0,5...1,12	0,8...0,85
ФД-24К	∅10	0,47...1,12	0,75...0,85
ФД 25К	1,9×1,9	0,4...1,1	0,8...0,9
ФД-26К	1,9×1,9	0,4...1,1	0,8...0,95
ФД-27К	1,9×1,9	0,4...1,1	0,8...0,95
ФД-28КП	1,24×1,24	0,4...1,1	0,72...0,85
ФД-К-142	∅13,7 квадрантный (4)	0,3...1,1	0,72...0,85
ФДК-155	∅5	0,4...1,1	0,75...0,85
ФДК-227	∅1,17*	0,4...1,1	0,78...0,88
ФД-252	∅0,6*	0,4...1,1	0,76...0,88
ФД-246	12×0,3(12) и 0,3×0,4(64)	0,5...1,1	0,75...0,9
ФД-252-01	∅0,3*	0,4...1,1	0,78...0,88
ФД-256	∅1,37*	0,4...1,1	0,75...0,9
ФД-265А	1,4×1,4	0,4...1,1	0,75...0,9
ФД-265Б	1,4×1,4	0,4...1,1	0,75...0,9

* Размер прямоугольника или круга, в который вписывается фоточувствительный

СФЗ-7Б, СФЗ-8, СФЗ-9А и СФЗ-16 изготовляют в герметизированном металлостеклянном корпусе.

Выводы фоторезисторов ФСД-1, ФСД-Г2 рассчитаны на включение в октальную панель. Конструктивное выполнение фоторезисторов СФЗ-1, СФЗ-5,

Рабочее напряжение, $U_р$, В	Темновой ток $I_т$, мкА, не более	Интегральная токовая чувствительность $S_{I\ инт}$, мА/лм (мкА/лк), не менее	Масса, г, не более
20	3	3	0,3
0	3	3	0,3
15	0,5	3	0,8
20	1	$(1{,}4\cdot10^{-2})$	1,6
27	5	$(4{,}7\cdot10^{-1})$	10
20	1	$(6\cdot10^{-3})$	1
10	10	3	1,6
20	1	$4{,}4(0{,}7\cdot10^{-2})$	2
10	0,005	3	1
10	0,2	5	3
15	10	$(4{,}7\cdot10^{-1})$	10
27	5	6	10
3	0,1	4,2 (группа А) 3,8 (группа Б)	1,2
7	0,1	4	4
5	0,1	(0,3 А/Вт) при $\lambda=0{,}9$ мкм	0,65
0 и 20	0,1	4 (группа А); 3,8 (группа Б)	0,8
3	0,1	4	2
5	0.05	4,5 (0,25 А/Вт) при $\lambda=0{,}9$ мкм	2
10	0,017	3,3	1
7	0,05	4,4	2
20	0,1	$0{,}4(7\cdot10^{-3})$	2
27	2,5	$6(4{,}7\cdot10^{-1})$	10
20	1	$(4\cdot10^{-3})$	1
20	3	$(4\cdot10^{-3})$	1
20	1	$(7{,}5\cdot10^{-3})$	1
4	0,02	3,5 (0,2 А/Вт) при $\lambda=0{,}63$ мкм	5
120	1,5	10	2,1
10	10	3,5	2
10	0,1	3(0,15 А/Вт) при $\lambda=0{,}63$ мкм	2
24	0,01	(0.35 А/Вт) при $\lambda=0{,}63$ мкм	3
0,2	1	3,5	15
24	0,01	(0,35 А/Вт) при $\lambda=0{,}63$ мкм	3
10	0,005	6(0,6 А/Вт) при $\lambda=0{,}9$ мкм	1
4	0,1	$(7{,}5\cdot10^{3})$	1
0	1	$6\cdot10^{-3}$	1

элемент.

СФ3-8, СФ3-16, ФСД-1а, ФСД-Г1 аналогично приборам СФ2-1, СФ2-5, СФ2-8, СФ2-16, ФСК-1а, ФСК-Г1. Фоторезисторы ФР-764 взаимозаменяемы с ФСД-1, ФСД-Г1, ФСД-Г2.

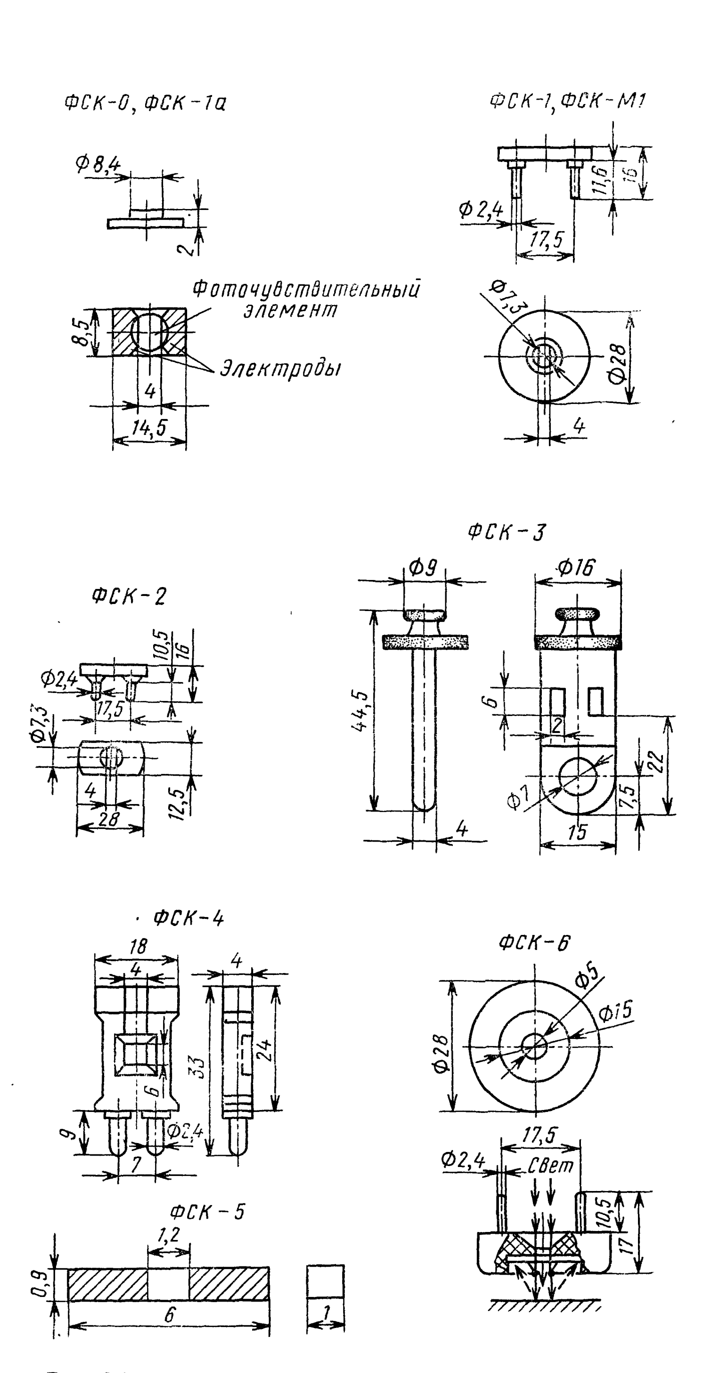

ФСК-0, ФСК-1а
Ф8,4
2
Фоточувствительный элемент
Электроды
8,5
4
14,5
ФСК-1, ФСК-М1
Ф2,4
17,5
11,6
16
Ф7,3
Ф28
4
ФСК-2
Ф2,4
17,5
10,5
16
Ф7,3
4
28
12,5
ФСК-3
Ф9
Ф16
44,5
4
6
2
Ф7
22
7,5
15
ФСК-4
18
4
33
24
6
9
Ф2,4
7
ФСК-6
Ф5
Ф15
Ф28
17,5
Ф2,4
Свет
10,5
17
ФСК-5
1,2
0,9
6
1

Рис. 3.1

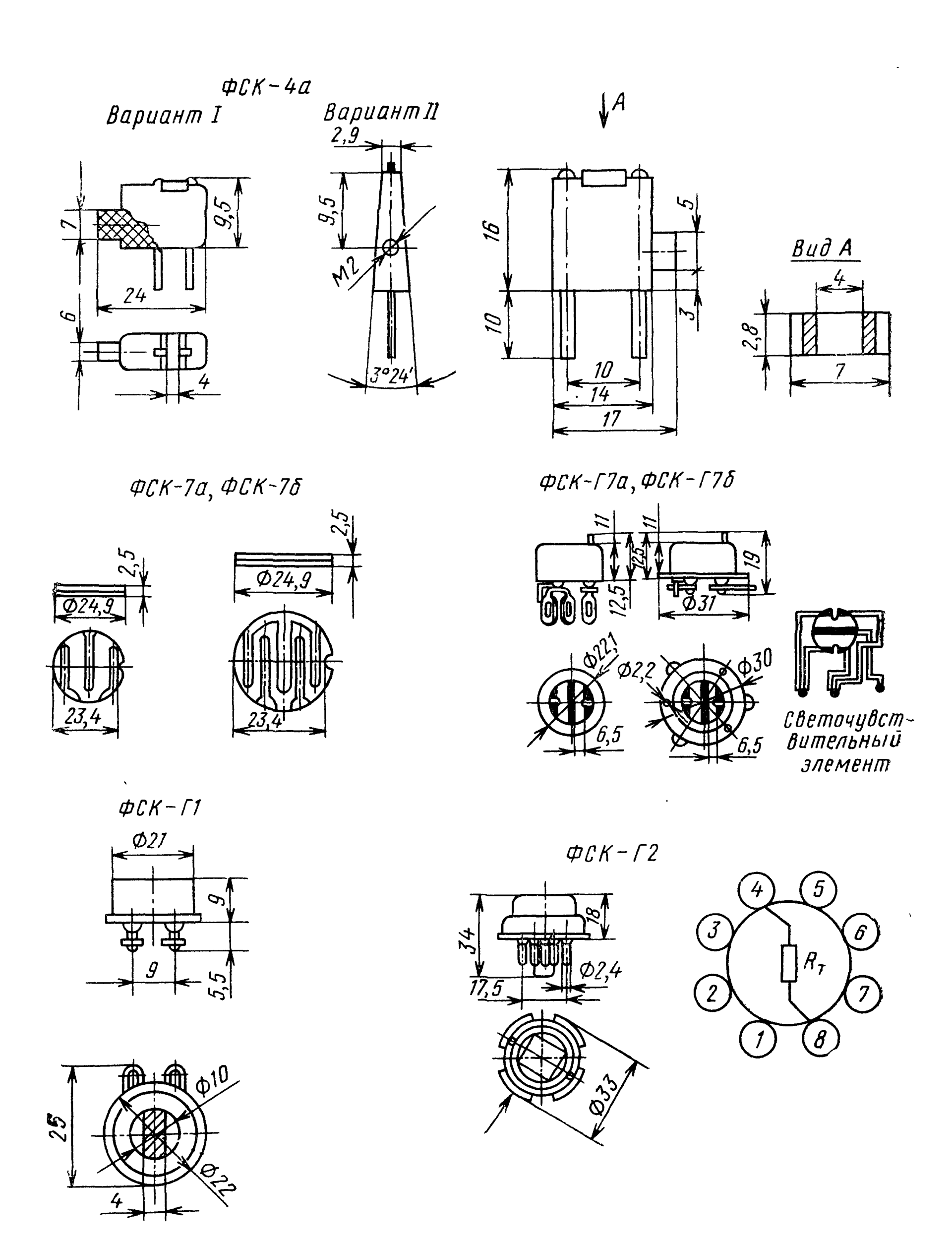


Рис. 3.1 (продолжение)

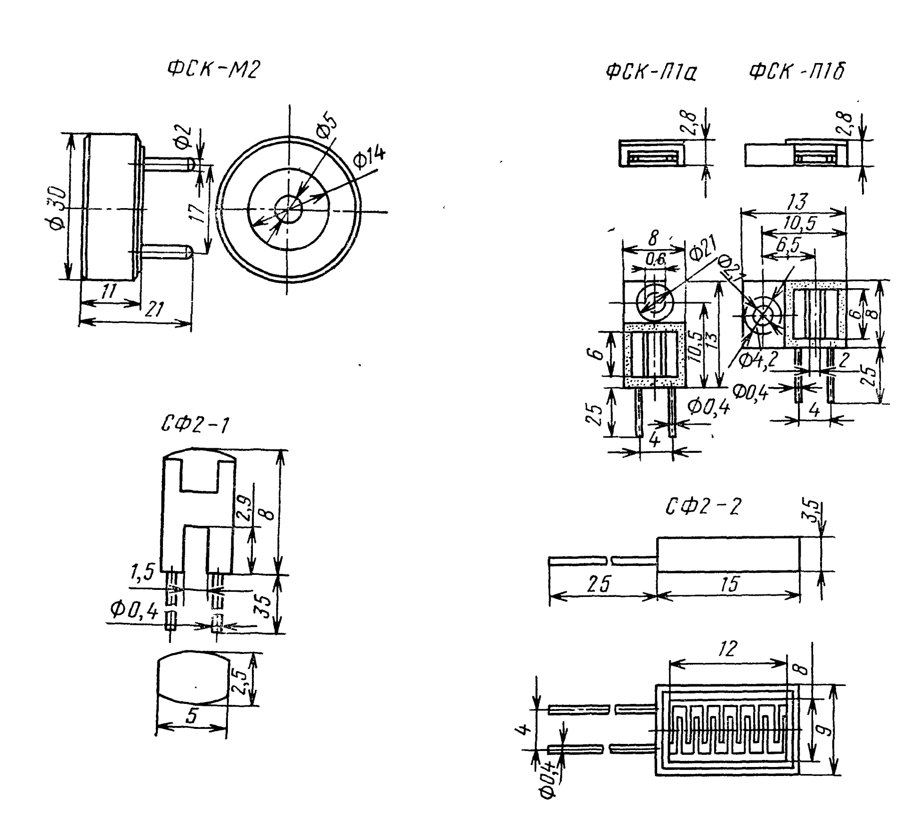


Рис. 3.1 (продолжение)

Фоторезисторы на основе сульфида свинца ФСА-Г1, ФСА-Г2, ФР1-3, ФР1-4 выпускают в герметичном металлостеклянном корпусе, ФСА-1, ФСА-4 и ФСА-6 — в пластмассовом корпусе, ФСА-0, ФСА-1а — бескорпусные, для подключения их необходимо использовать прижимные контакты.

Фоторезисторы на основе селенида свинца СФ4-1А—СФ4-1Д, СФ4-2А—СФ4-2Д, СФ4-3А—СФ4-3Д выполнены в герметизированном металлостеклянном корпусе.

Основные параметры фоторезисторов приведена в табл. 3.1, внешний вид фоторезисторов показан на рис. 3.1.

3.2. Фотодиоды

Фотодиоды, изготовленные на основе кремния, работают в интервале длин волн 0,5 ... 1,1 мкм. Фотодиоды на основе германия работают в интервале длин волн 0,5 ... 1,9 мкм.

Большинство фотодиодов выпускают в герметичных металлостеклянных корпусах. Лавинный фотодиод ЛФД-2 выпускают в металлокерамическом кор-

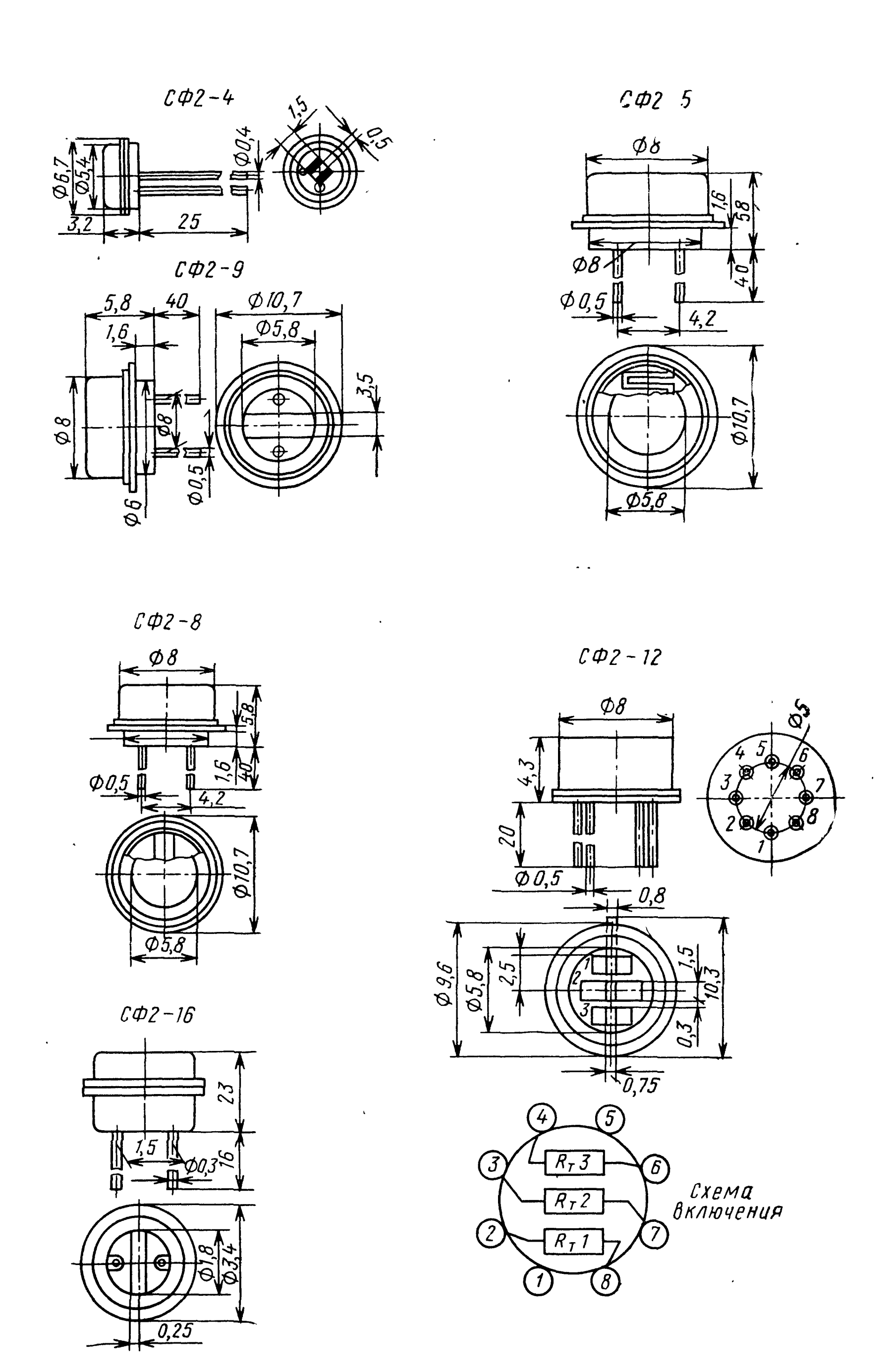


Рис. 3.1 (продолжение)

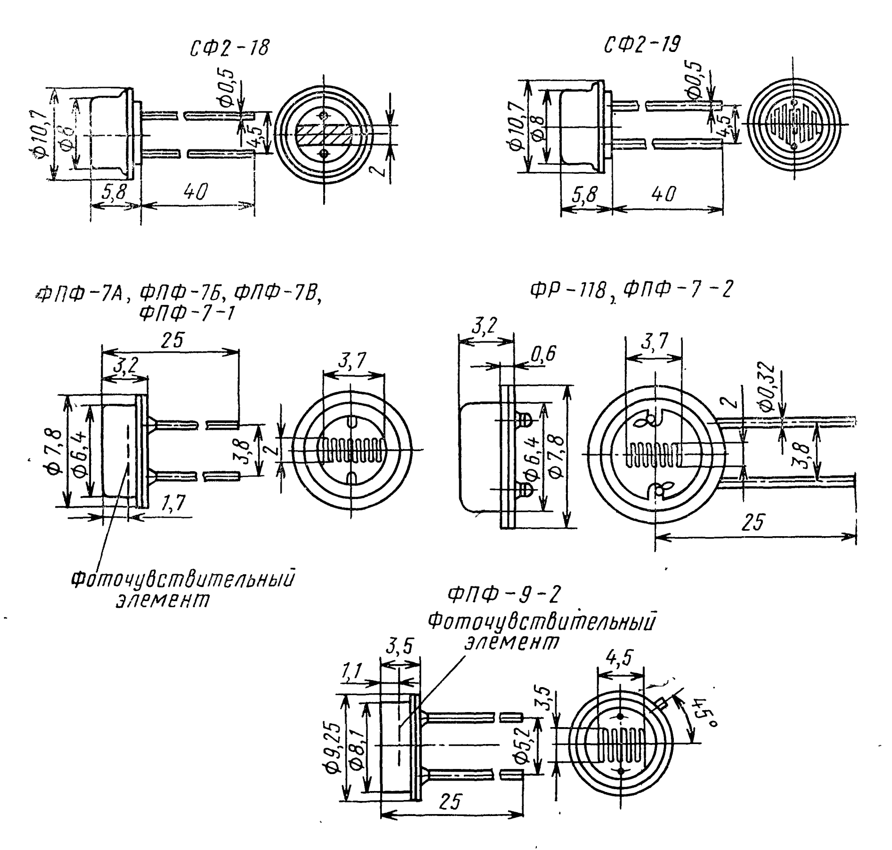


Рис. 3.1 (продолжение)

пусе, фотодиод ФД-2 — в пластмассовом корпусе. Плюсовый вывод фотодиодов маркируют на корпусе знаком «+», точкой или цветной меткой на вводе. При отсутствии меток вывода фотодиода выполняют разной длины и плюсовым является более длинный вывод. Для ввода оптического излучения на фоточувствительный элемент в корпусе фотодиода встраивают входные окна, линзы, световоды и другие оптические элементы. Без входного встроенного оптического элемента выпускается фотодиод ФД-20-30К. Фотодиоды ФД20-32К и ФД-20-30К имеют по два фоточувствительных элемента, ФД-19КК, ФД-20КП, ФД-22КП и ФД-20-33К — по четыре. Фотодиод ФД-246 имеет 64 фоточувствительных элементов, образующих шестиразрядный код Грея. Фотодиод ФД-К-142 имеет координатно-чувствительный квадратный четырехэлементный оптический вход.

Основные параметры фотодиодов приведены в табл. 3.2, 3.3, внешний вид фотодиодов показан на рис. 3.2.

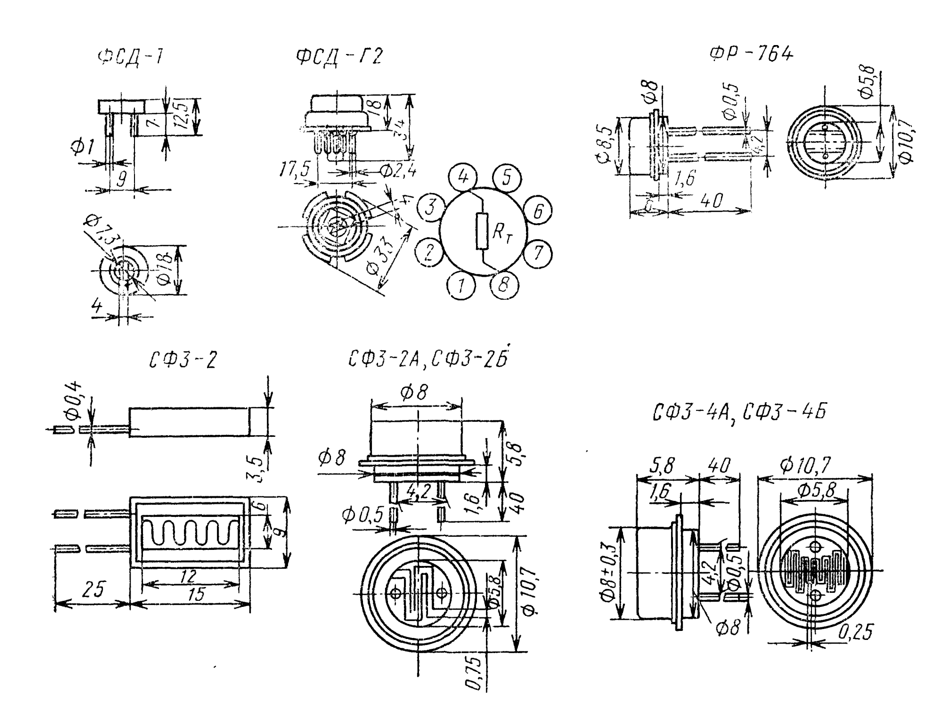
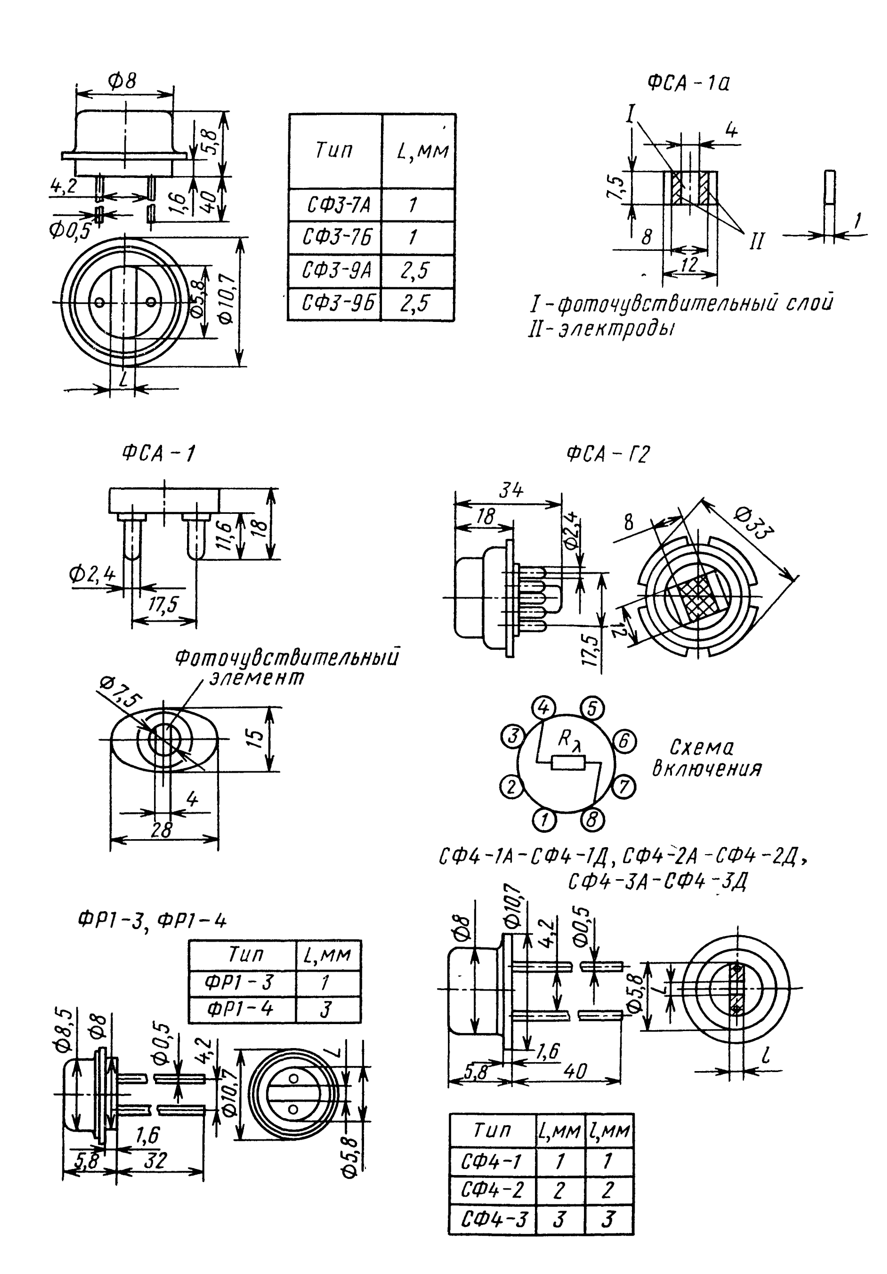


Рис. 3.1 (продолжение)

Таблица 3.3. **Основные параметры германиевых фотодиодов**

Фотодиод	Диаметр фоточувствительного элемента, мм	Диапазон спектральной характеристики $\Delta\lambda$, мкм	Максимальная спектральная характеристика λ_{max}, В	Рабочее напряжение $U_р$, В	Темновой ток $I_т$, мкА, не более	Интегральная токовая чувствительность $S_{I\,инт}$, мА/лм, не менее	Мощность излучения темнового тока, $P_т$, МОт, не менее	Масса, г, не более
	Параметр							
ФД-1	5	0,4 ... 1,9	1,5 ... 1,6	20	30	6,6	—	1
ФД-2	1,3	0,4 ... 1,8	1,5 ... 1,6	30	25	6,6 (гр. I) 5 (гр. II)	—	0,8
ФД-3А	2,45	0,4 ... 1,8	1,5 ... 1,6	10	10	6,5	50	0,8
ФД-47	2,45	0,4 ... 1,8	1,5 ... 1,55	20	30	5	50	0,8
ФД-5Г	2,5	0,3 ... 1,8	1,5 ... 1,55	15	8	7	100	1,6
ФД-7Г	2,5	0,3 ... 1,8	1,5 ... 1,55	10	8	10	100	1,6



Тип	L, мм
СФ3-7А	1
СФ3-7Б	1
СФ3-9А	2,5
СФ3-9Б	2,5

Тип	L, мм
ФР1 - 3	1
ФР1 - 4	3

Тип	L, мм	l, мм
СФ4-1	1	1
СФ4-2	2	2
СФ4-3	3	3

Рис. 3.1 (окончание)

ФДК-1, ФДК-10

6 3,8 Ф3,4 Ф3,9 Ф0,3 7,2 50 9

ФД – 3К

1,7 11 25 „+" „+" 4 4 Ф0,5

ФД – 6К, ФД – 10К, ФД-23К

Плоскость светочувствительного элемента

Ф5,5 Ф4,1 35 1,2 2,3 14 190

„+"-длинный вывод или цветная метка на выводе

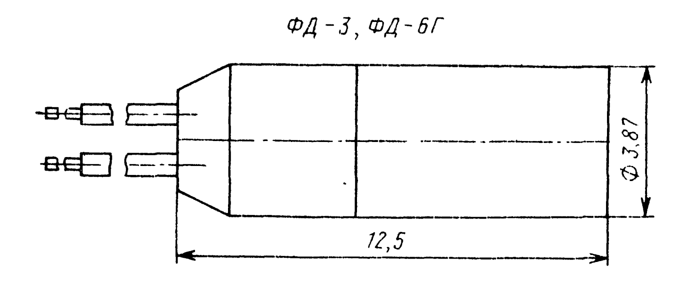


Рис. 3.2

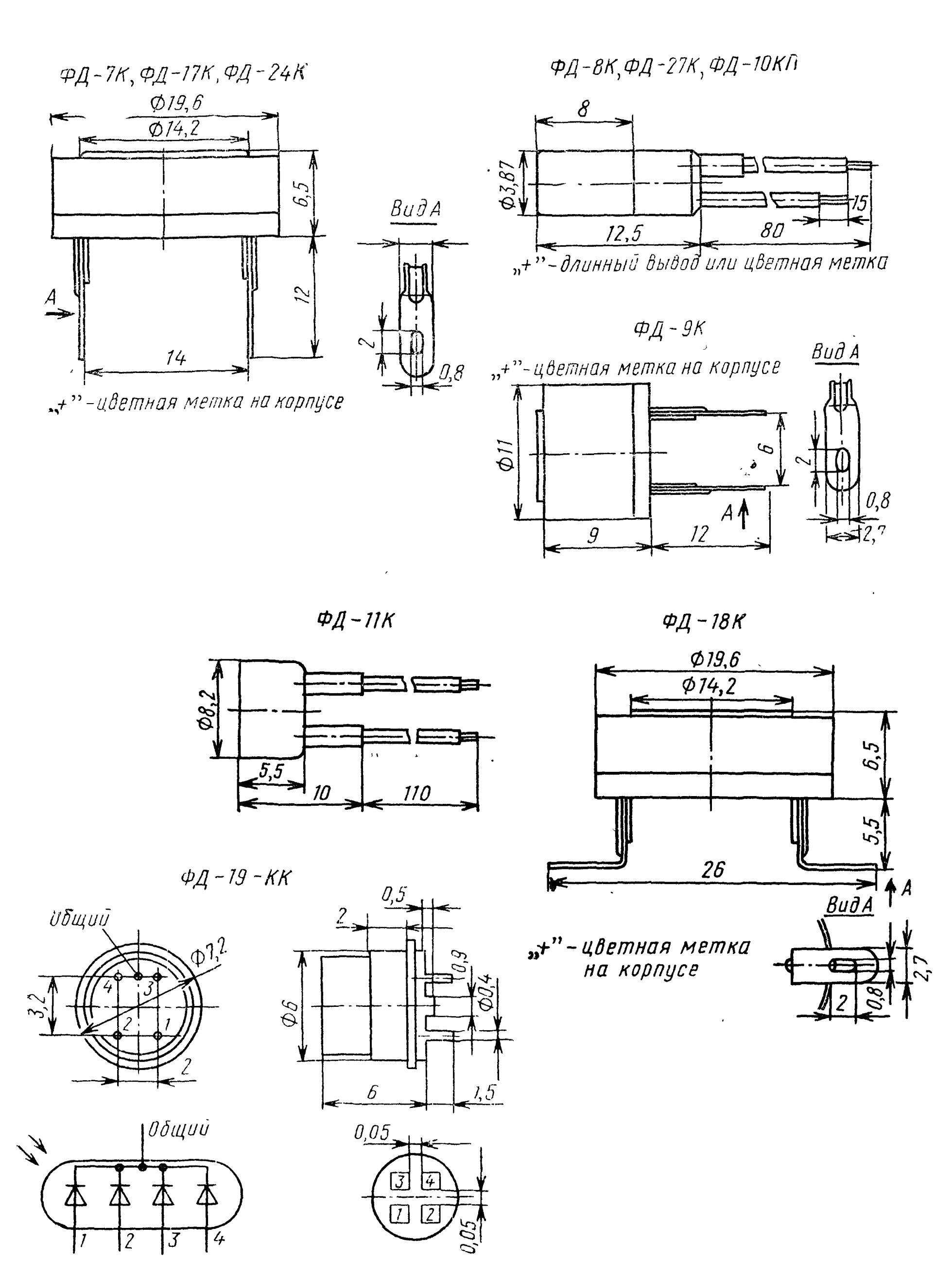


Рис. 3.2 (продолжение)

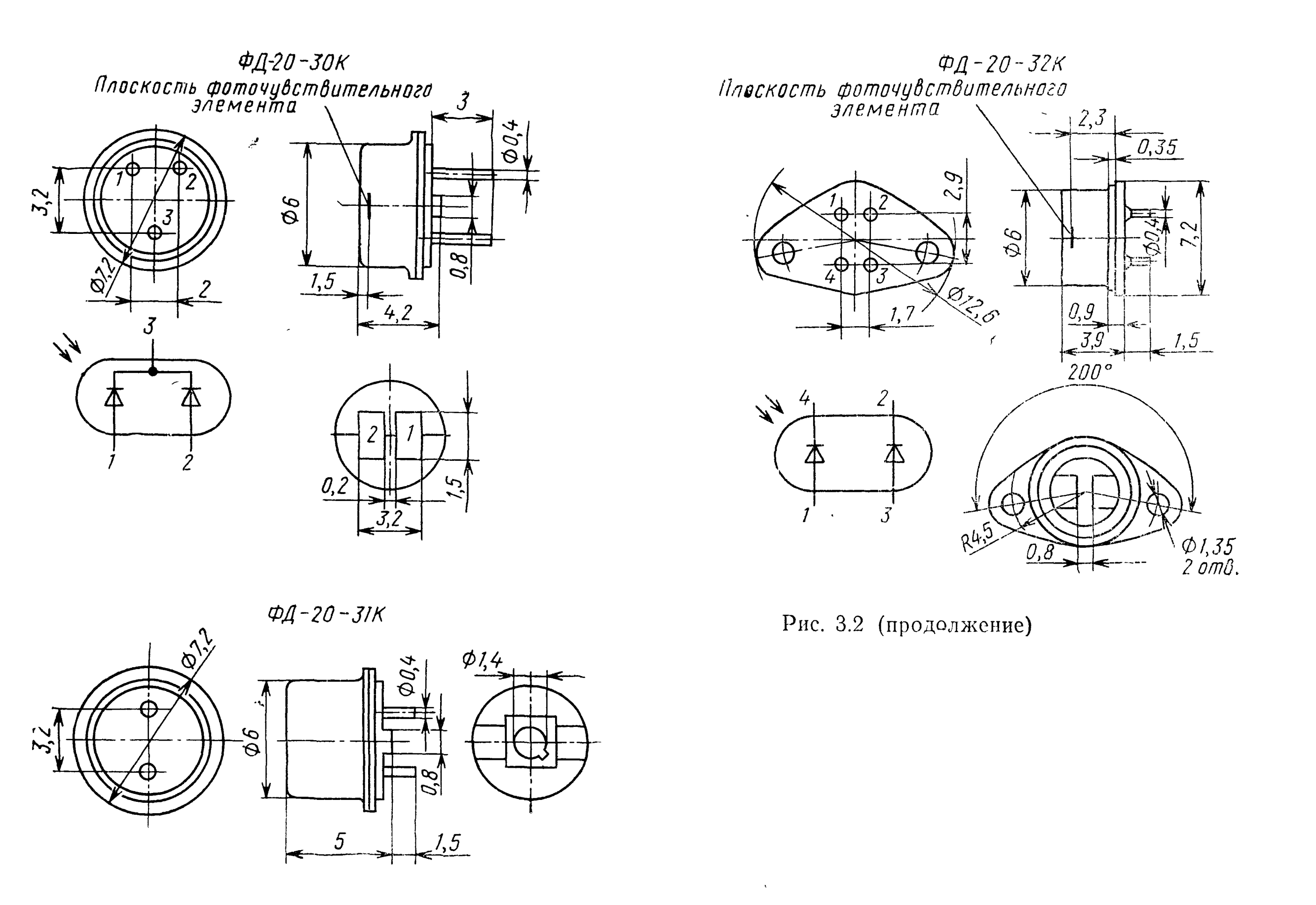
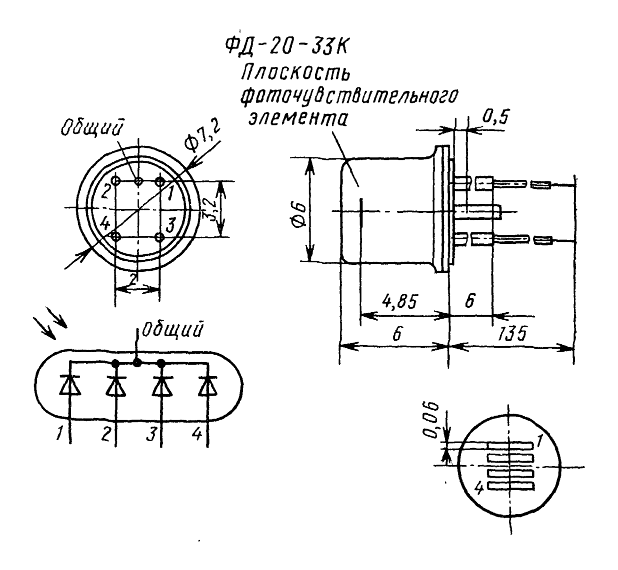


Рис. 3.2 (продолжение)



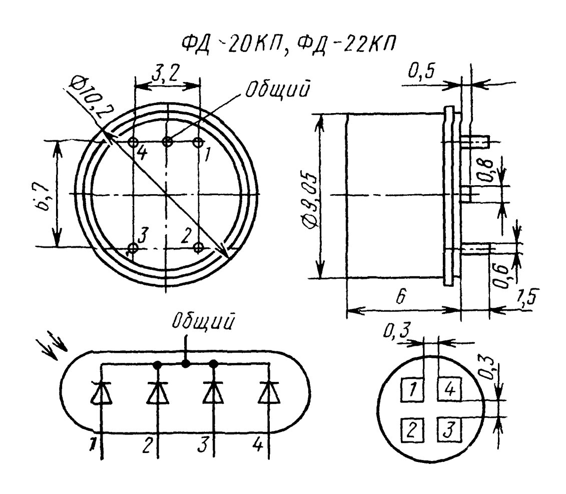
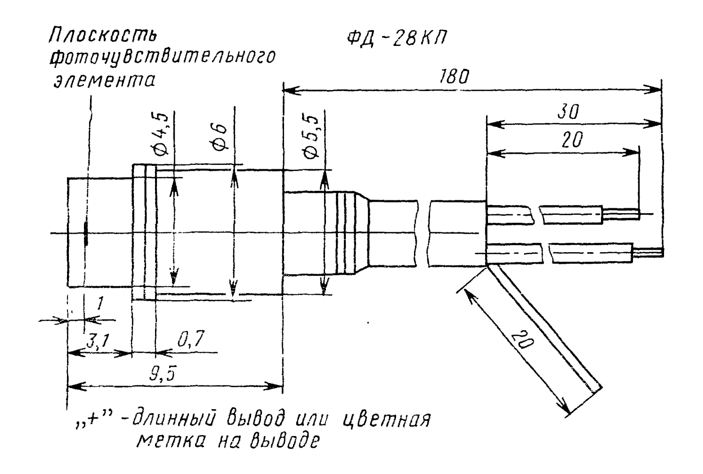
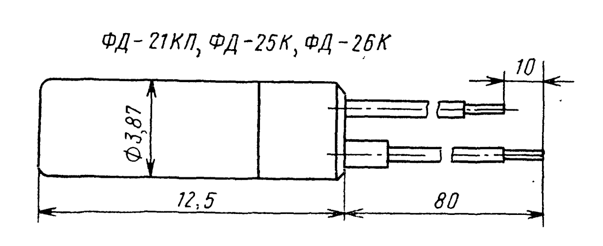


Рис. 3.2 (продолжение)





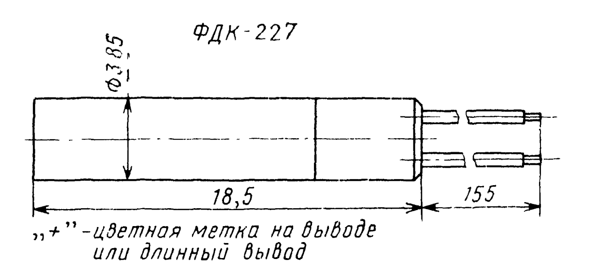
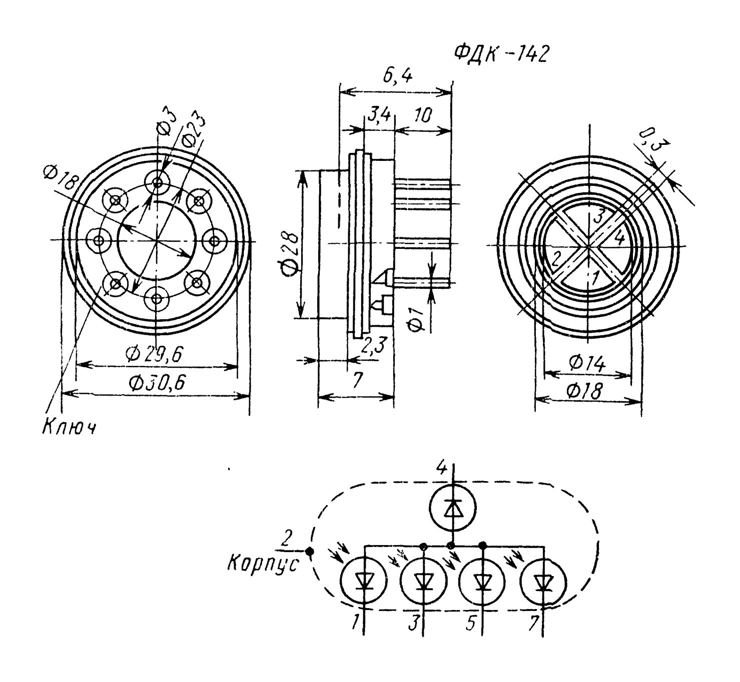


Рис. 3.2 (продолжение)



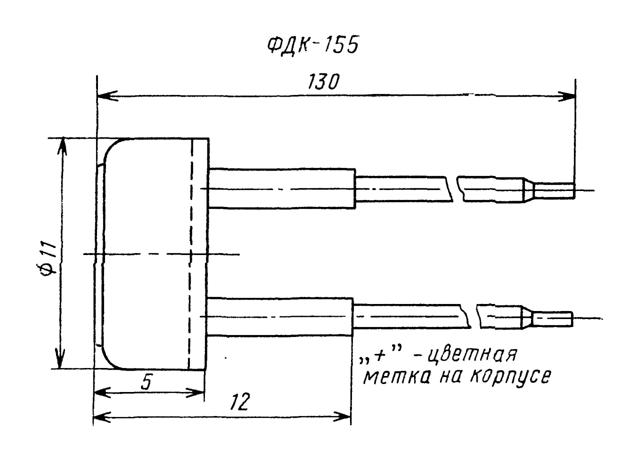


Рис. 3.2 (продолжение)

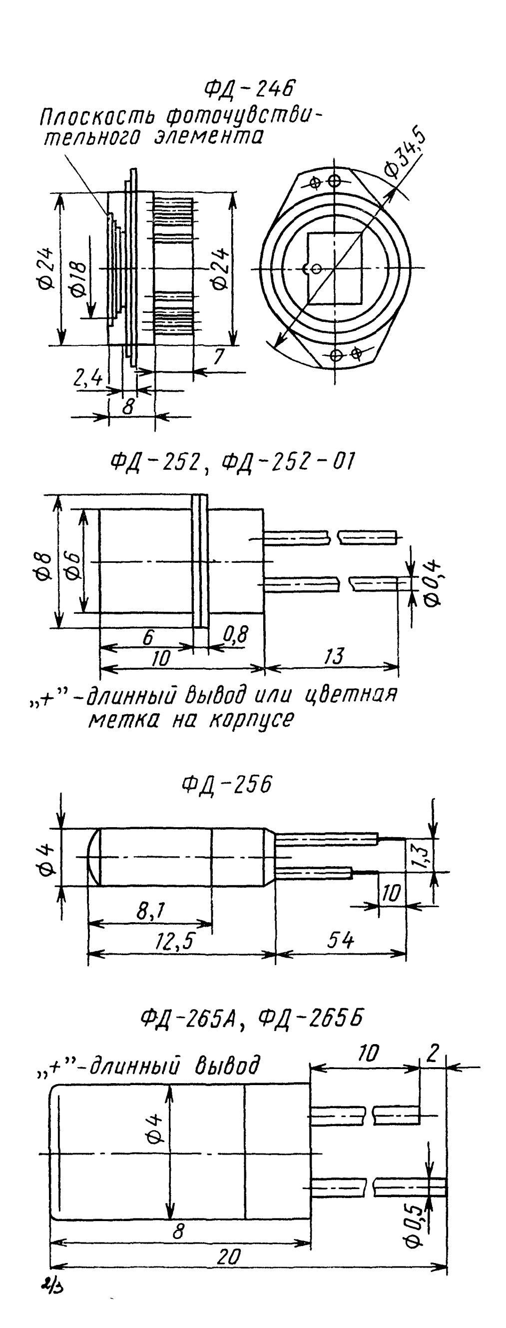


Рис. 3.2 (продолжение)

ФД-1

Ф8,2 Ф5,1 31 18 8 „+"-корпус

ФД-2

7 10 Ф1,3 2,6 Ф0,5 2,2 15 70

ФД-3А

„+" Ф3,95 9 12 59 Ф0,3

ФД-4Г

Ф4,6 Ф5 „+"-двойной вывод Ф0,3 5 11 35

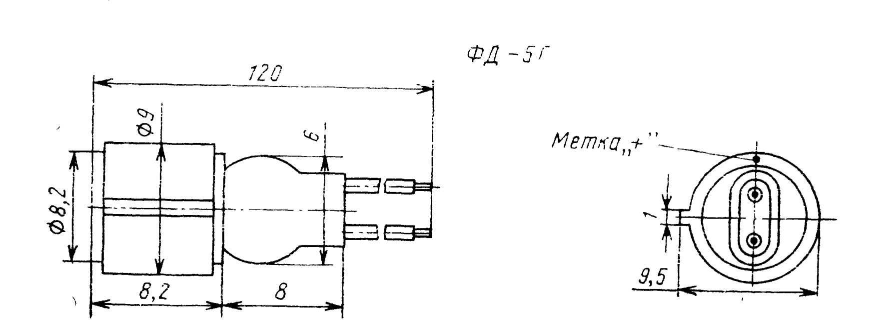
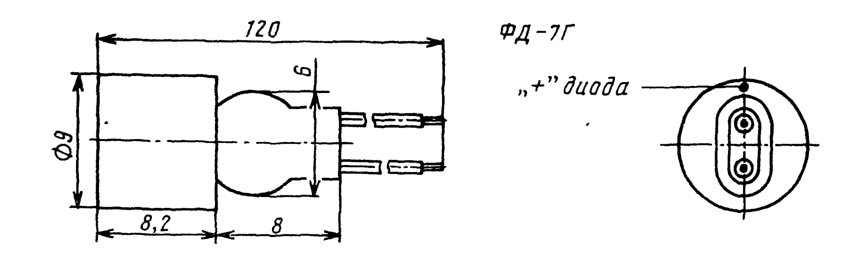


Рис. 3.2 (продолжение)



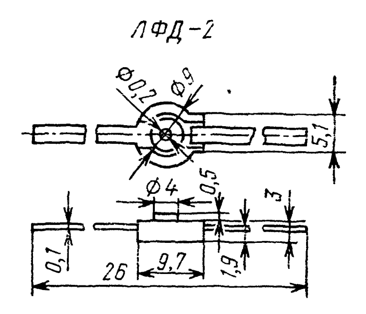


Рис. 3.2 (окончание)

Лавинный фотодиод ЛФД-2 предназначен для работы в лавинном режиме. Диаметр фоточувствительного элемента 200 мкм. Прибор имеет входное стеклянное окно, оформлен в металлокерамическом корпусе. Масса не более 2 г.

Основные параметры даны при температуре 20±5° С приведены ниже.

Наименование	Не менее	Не более
Рабочее напряжение при коэффициенте умножения фототока $M_ф=10$ и сопротивлении нагрузки 1 кОм, В	16	25
Темновой ток при напряжении 8±1 В, мкА . .	—	1
Темновой ток при напряжении 10 В и коэффициенте умножения фототока $M_ф=10$, мкА . . .	—	10
Спектральная токовая чувствительность $А \cdot Вт^{-1}$:		
на длине волны 0,632 мкм	0,15	—
на длине волны 1,06 мкм	0,5	—
Спектральная плотность напряжения шума при напряжении 10 В и сопротивлении нагрузки 1 кОм, $В \cdot Гц^{-1/2}$	—	$3 \cdot 10^{-8}$
Порог чувствительности при полосе пропускания 50 ВГц, сопротивлении нагрузки 1 кОм, длине волны 1,06 мкм, Вт	—	$5 \cdot 10^{-8}$
Верхняя граничная частота, ГГц	1	—
Собственная емкость при напряжении 8±1 В, пФ	—	6
Температура окружающей среды, °С	15	25

3.3. Фототранзисторы

Фототранзисторы отличаются от фотодиодов дополнительным усилением фототока на эмиттерном p-n переходе. Фототранзисторы могут работать как фотодиоды (режим с плавающей базой), так и в транзисторном режиме с источником смещения в базовой цепи. Вывод эмиттера фототранзистора маркируется цветной точкой на корпусе или цветной меткой на проволочном выводе. Фототранзисторы выпускают в металлостеклянном корпусе с входным окном базы в двух конструктивных оформлениях, как с отдельным электрическим выводом базы, так и без него.

Основные параметры фототранзисторов приведены в табл. 3.4, внешний вид фототранзисторов показан на рис. 3.3.

Таблица 3.4. **Справочные характеристики фототранзисторов**

Фототранзистор	Площадь фоточувствительного элемента, мм²	Основные параметры при температуре 20±5 °С						
		Диапазон спектральной характеристики, $\Delta\lambda$, мкм	Максимальная спектральная характеристика, $\Delta\lambda_{max}$, мкм	Раболее напряжение U_p, В	Темновой ток $I_т$, мкА, не более	Интегральная токовая чувствительность $S_{I\,инт}$, мкА/лк, не менее	Импульсная постоянная времени $\tau_и$, с, не более	Масса, г, не более
ФТ-1К	2,8	0,5 ... 1,12	0,8 ... 0,9	5	3	(0,4)	$8 \cdot 10^{-5}$	0,9
ФТ-2К	2,8	0,5 ... 1,12	0,8 ... 0,9	5	3	(0,4)	$8 \cdot 10^{-5}$	0,9
ФТ-1Г	3	0,4 ... 1,8	1,5 ... 1,6	1 ... 5	300	0,2	$2 \cdot 10^{-4}$	1,5
ФТ-2Г	1	0,4 ... 1,8	1,5 ... 1,6	12 ... 24	500	2	$1 \cdot 10^{-5}$	1,5
ФТ-3Г	3	0,4 ... 1,8	1,5 ... 1,6	10 ... 12	1000	2 ... 7	$1 \cdot 10^{-4}$	1,5
ФТ-3	3	0,4 ... 1,8	1,5 ... 1,55	5 ... 10	60		$1\ (2 \ldots 10) \cdot 10^{-5}$	1,8
ФТГ-4	3	0,4 ... 1,8	1,5 ... 1,55	5 ... 10	40		$3\ (2 \ldots 10) \cdot 10^{-5}$	1,8
ФТГ-5	3	0,4 ... 1,8	1,5 ... 1,55	5 ... 10	50		$1\ 2 \cdot 10^{-5}$	1,8

3.4. Оптопары

Оптопары имеют входные параметры, описывающие работу входной цепи, и выходные, относящиеся к нагрузочной цепи.

Основные параметры оптопар. Входное напряжение оптопары $U_{вх}$ — значение напряжения на ее входе.

Напряжение изоляции оптопары $U_{из}$ — значение напряжения, приложенного между входом и выходом оптопары, при котором обеспечивается ее электрическая прочность.

Входной ток оптопары $I_{вх}$ — значение тока, протекающего в ее входной цепи.

Импульсный входной ток оптопары $I_{вх.и}$ — наибольшее мгновенное значение тока, протекающего в ее входной цепи, при котором обеспечены заданные параметры.

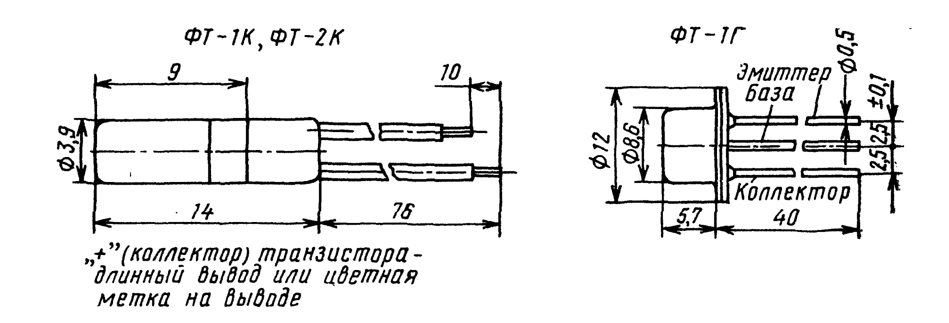
Сопротивление изоляции $R_{из}$ — значение активного сопротивления между входом и выходом оптопары.

Проходная емкость $C_{пр}$ — значение емкости между входом и выходом оптопары.

Выходное остаточное напряжение $U_{вых.ост}$ — значение напряжения на выходе оптопары в открытом состоянии.

Коммутируемое напряжение оптопары (оптоэлектронного коммутатора) $U_{ком}$ — значение напряжения, подключаемого к ее нагрузке выходным ключевым элементом.

Ток утечки на выходе $I_{ут.вых}$ — значение тока, протекающего в выходной цепи закрытой оптопары в заданном режиме.



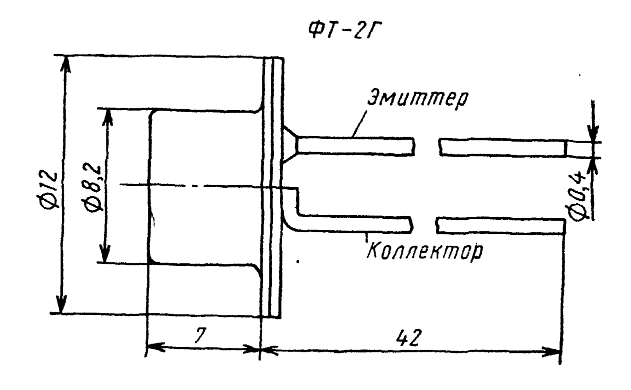
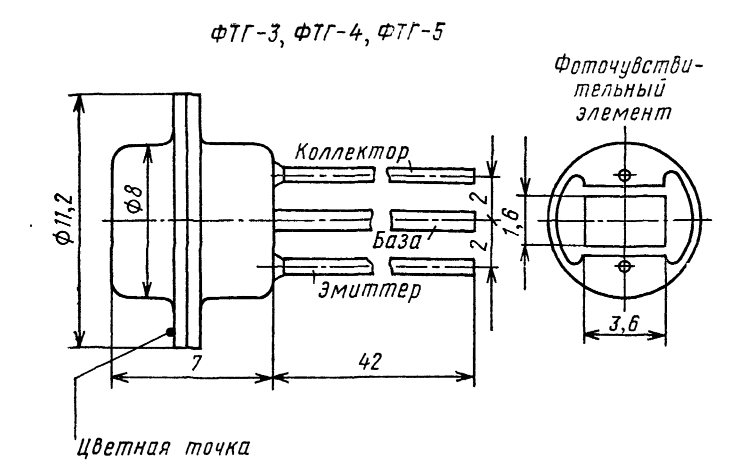


Рис. 3.3



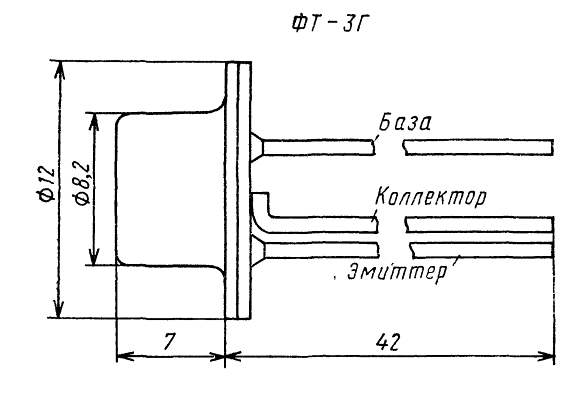


Рис. 3.3 (окончание)

Время задержки оптопары $t_{зд}$ — интервал времени от момента, когда входной сигнал достигнет 10% максимального значения (сигналы измерены по фронту импульсов).

Время нарастания выходного сигнала оптопары $t_{нр}$ — интервал времени, в течение которого выходной сигнал оптопары изменяется от 10 до 90% своего максимального значения.

Время включения оптопары $t_{вкл}$ — интервал времени, равный сумме времени задержки и времени нарастания выходного сигнала оптопары.

Время спада выходного сигнала оптопары $t_{сп}$ — интервал времени, в течение которого выходной сигнал оптопары изменяется от 90 до 10% своего максимального значения.

Время сохранения $t_{сохр}$ — интервал времени между моментом, когда входной сигнал достигнет 90% максимального значения, и моментом, когда выходной сигнал достигнет 90% максимального значения (моменты измерены по спаду импульсов).

Время выключения $t_{выкл}$ — интервал времени, равный сумме времени сохранения и времени спада выходного сигнала оптопары.

Обратное входное напряжение $U_{вх.обр}$ — значение напряжения на входе оптопары, приложенное в обратном направлении.

Обратное выходное напряжение оптопары $U_{вых.обр}$ — наибольшее значение напряжения, приложенного в обратном направлении к выходу оптопары при закрытом фотоприемнике.

Выходной ток $I_{вых}$ — значение тока, протекающего в цепи нагрузки оптопары в заданном режиме.

Импульсный выходной ток $U_{вых.и}$ — наибольшее мгновенное значение выходного тока оптопары.

Коэффициент передачи по току оптопары K_I — отношение разности выходного тока и тока утечки на выходе оптопары к вызывавшему его входному току.

Рассеиваемая мощность оптопары $P_{рас}$ — наибольшее значение мощности, которую способна рассеять оптопара в заданном режиме при длительной работе.

Ток включения тиристорной оптопары $I_{вкл}$ — входной ток тиристорной оптопары, обеспечивающий включение фотоприемного элемента.

Ток выключения тиристорной оптопары $I_{выкл}$ — входной ток тиристорной оптопары, обеспечивающий выключение фотоприемного элемента.

Ток удержания тиристорной оптопары $I_{уд}$ — наименьшее значение тока, протекающего в выходной цепи тиристорной оптопары, который необходим для поддержания фотоприемного элемента открытым при входном токе, равном нулю.

Прямое выходное напряжение закрытой тиристорной оптопары $U_{вых.закр}$ — значение напряжения на выходе оптопары, находящейся в закрытом состоянии.

Скорость нарастания напряжения в закрытом состоянии тиристорной оптопары $dU_{з.с}/dt$ — скорость нарастания выходного напряжения, которое не вызывает открывания фотоприемника при входном токе, равном нулю.

Критическая скорость нарастания напряжения в закрытом состоянии тиристорной оптопары $(dU_{з.с}/dt)$ — наибольшая скорость нарастания напряжения на закрытом фототиристоре оптопары.

Критическая скорость нарастания коммутируемого напряжения тиристорной оптопары $(dU_{з.с}/dt)_{ком}$ — наибольшая скорость нарастания коммутируемого напряжения, которое непосредственно после нагрузки током в противоположном направлении не вызывает открывания фотоприемного элемента.

Время выключения тиристорной оптопары $t_{выкл}$ — наименьший интервал времени между моментом, когда выходной ток уменьшится до нулевого значения, и моментом, в который подача прямого выходного напряжения в закрытом состоянии с заданной скоростью нарастания не приводит к переключению фотоприемного элемента из закрытого состояния в открытое.

Таблица 3.5. **Основные характеристики резисторных оптопар**

Оптопара	Параметр	
	Излучатель	Основное назначение
ОЭП-1,2	Лампа накаливания	Коммутация
ОЭП-7	Светодиод	Ключевые и аналоговые устройства
ОЭП-8	Электролюминесцентный конденсатор	Коммутация
ОЭП-9-13	Лампа накаливания	Ключевые и аналоговые устройства

Темновое выходное сопротивление резисторной оптопары $R_{вых.т}$ — значение сопротивления фотоприемного элемента при отсутствии воздействия на него потока излучения.

Световое выходное сопротивление резисторной оптопары $R_{вых.св}$ — значение сопротивления фотоприемного элемента при воздействии на него потока излучения заданной интенсивности.

Основные параметры фототранзисторов приведены в табл. 3.5—3.17, внешний вид оптопар показан на рис. 3.4.

Таблица 3.6.

Основные параметры резисторных оптопар при температуре

Параметр	Оптопара			
	ОЭП-1	ОЭП-2	ОЭП-7	ОЭП-8
Входное напряжение, В	3,8 ... 5,5	3,8 ... 5,5	3,8	50 ... 100
при входном токе, мА	16	16	10	
Выходное темновое сопротивление, Ом, не менее	$3 \cdot 10^8$	$3 \cdot 10^7$	$1 \cdot 10^6$	$5 \cdot 10^8$
Выходное световое сопротивление, Ом, не более	$4 \cdot 10^3$	500	$2 \cdot 10^3$	$5 \cdot 10^4$
Время включения, мс, не более	200	200	120	600
Время выключения, мс	—	—	—	—
на уровне выходного сопротивления, Ом	—	—	—	—
Сопротивление изоляции, Ом, не менее	—	—	—	—
Частота входного напряжения, Гц	—	—	—	3000
Выходной коммутируемый ток, мА	3,5	7	0,2	—
Масса, г, не более	2,4	2,4	—	—

Оптопары с открытым оптическим каналом отражательного типа АОР113А, АОРС113А. В этих приборах смонтированы светодиод (из арсенида галлия) и дифференциальный фоторезистор (из селенида кадмия). Оптопары используют в качестве позиционно-чувствительных датчиков устройств автоматики металлообрабатывающих станков с числовым программным управлением (ЧПУ). Для отражения лучей применяют зеркало диаметром 20 мм с радиусом кривизны 50 мм.

Корпус оптопары — металлический со стеклянным окном. Позиционная чувствительность (отношение приращения тока в диагонали измерительного моста к отклонению отражающего зеркала от начального положения) при входном токе 10 мА, напряжении на фоторезисторе 10 В и относительном световом отверстии 1 : 1,8 — не менее 2 мкА/мкм. Входной ток — не более 20 мА. Выходное напряжение — не более 10 В.

Предельные эксплуатационные параметры многоканальных оптопар АОД109А, АОД109Б, АОД109В, АВ109Г, АОД109Е, АОД109Ж, АОД109И, ЗОД109А, ЗОД109Б, ЗОД109В, ЗОД109Г, ЗОД109Д:

Входной ток, мА:
- при нескольких работающих каналах 10
- при одном работающем канале в оптронах АОД109А—АОД109И 20

Входной импульсный ток, А, при $\tau_и = 1$ мс 1
Входное обратное напряжение, В 3,5

окружающей среды

ОЭП-9	ОЭП-10	ОЭП-11	ОЭП-12	ОЭП-13	ОЭП-14
5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8
16	16	16	16	16	10
$1 \cdot 10^9$	$1 \cdot 10^{11}$	$1 \cdot 10^7$	$1{,}5 \cdot 10^7$	$1{,}5 \cdot 10^8$	$1 \cdot 10^7$
$1 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^3$	400	$3 \cdot 10^3$	$150 \cdot 10^4$
—	—	—	—	—	—
100	100	200	200	200	200
$2 \cdot 10^7$	$2 \cdot 10^8$	$1 \cdot 10^5$	$1 \cdot 10^5$	$4 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^5$
$1 \cdot 10^{-11}$	$1 \cdot 10^{11}$	$5 \cdot 10^8$	$5 \cdot 10^8$	$5 \cdot 10^8$	$5 \cdot 10^8$
—	—	—	—	—	—
0,2	0,2	1	2	2	1
4	4	4	4	4	—

Таблица 3.7.

Предельные эксплуатационные параметры резисторных оптопар

Параметр	Оптопара									
	ОЭП-1	ОЭП-2	ОЭП-7	ОЭП-8	ОЭП-9	ОЭП-10	ОЭП-11	ОЭП-12	ОЭП-13	ОЭП-14
Входной постоянный ток, мА	—	—	10	—	—	—	—	—	—	—
Входной средний ток, мА	18	18	—	0,3	20	20	20	20	20	20
Выходной средний коммутируемый ток, мА	3,5 5	7 ... 9	—	—	—	—	—	—	—	—
Выходной ток, мА	—	—	0,2	—	0,2	0,2	1	2	2	1
Выходное напряжение, В	—	—	35	—	20	20	10	250	250	10
Выходное коммутируемое эффективное напряжение, В	250	250	—	120	—	—	—	—	—	—
Выходная мощность рассеивания, мВт	—	—	10	50	25	25	25	25	25	15
Напряжение изоляции, В	500	500	—	—	100	100	100	100	100	10

Примечание. Предельные значения рабочей температуры окружающей среды —60 ... +55 °С.

Выходное обратное напряжение, В:
- для АОД109Б, ЗОД109Б 10
- для остальных 40

Напряжение изоляции, В 100
Напряжение изоляции между каналами, В 100
Интервал температуры окружающей среды, °С . . . —60 ... +70°

Оптопары диодные АОД134АС. Эти приборы содержат в одном корпусе две независимые оптопары. Они предназначены для использования в качестве элементов гальванической развязки.

Корпус — пластмассовый.

Масса — не более 1 г.

Оптопары диодные с открытым оптическим каналом АОД111А. Излучатель — светодиод (арсенид галлия), приемник — кремниевый p-i-n фотодиод. Приборы используют в качестве микроэлектронных преобразователей в аппаратуре автоматического контроля линейного и углового перемещений.

Входное напряжение при входном токе 10 мА не более 2 А в интервале температуры —20 ... +70° С.

Таблица 3.8.

Основные параметры диодных оптопар при температуре окружающей среды +25 °С

Оптопара	Параметр					
	Входное напряжение, В, при входном токе 10 мА, не более	Коэффициент передачи по току, %, при входном токе, мА, не менее	Время нарастания и спада выходного импульса, нс, при входном токе, мА, не более	Выходной обратный темновой ток, мкА, не более	Сопротивление изоляции, Ом, не менее	Проходная емкость, пФ, не более
АОД101А	1,5	1/10	100/20	2	$1 \cdot 10^9$	2
АОД101Б	1,5	1,5/10	500/20	8	$1 \cdot 10^9$	2
АОД101В	1,5	1,2/10	1000/20	2	$1 \cdot 10^9$	2
АОД101Г	1,5	0,7/10	500/20	10	$1 \cdot 10^9$	2
АОД101Д	1,8	1/10	250/20	5	$1 \cdot 10^9$	2
ЗОД101А	1,5	1/10	100/20	2	$1 \cdot 10^9$	2
ЗОД101Б	1,5	1,5/10	500/20	8	$1 \cdot 10^9$	2
ЗОД101В	1,5	1,2/10	1000/20	2	$1 \cdot 10^9$	2
ЗОД101Г	1,5	1,5/10	500/20	2	$1 \cdot 10^9$	2
АОД107А	1,5	5/10	500/20	5	$1 \cdot 10^{10}$	2
АОД107Б	1,5	3/10	300/20	5	$1 \cdot 10^{10}$	2
АОД107В	1,5	1/10	300/20	5	$1 \cdot 10^{10}$	2
ЗОД107А	1,5	5/10	500/20	5	$1 \cdot 10^{10}$	2
ЗОД107Б	1,5	3/10	300/20	5	$1 \cdot 10^{10}$	2
АОД112А-1	1,7	2,5/10	$3 \cdot 10^3/20$	2	$1 \cdot 10^{10}$	2,5
ЗОД112А-1	1,7	2,5/10	$3 \cdot 10^3/20$		$1 \cdot 10^{10}$	2,5
АОД120А-1	1,7	1/10	30/10	2	$1 \cdot 10^{10}$	2
АОД120Б-1	1,7	0,4/10	50/10	2	$1 \cdot 10^{10}$	2
ЗОД120А-1	1,7	1/10	30/10	2	$1 \cdot 10^{10}$	2
ЗОД121А-1	1,7	1,5/10	70/50		$1 \cdot 10^{10}$	1
ЗОД121Б-1	1,7	2,5/10	100/50	2	$1 \cdot 10^{10}$	2
ЗОД121В-1	1,7	3,2/10	100/50		$1 \cdot 10^{10}$	2
АОД130А	1,5	1/10	100/10		$1 \cdot 10^{11}$	0,5
АОД201А-1	1,5	0,6/5	100/20	2	$1 \cdot 10^{10}$	1,8
АОД201Б-1	1,5	0,9/5	100/20	2	$1 \cdot 10^{10}$	1,8
АОД201В-1	1,5	1,5/5	100/20	2	$1 \cdot 10^{10}$	1,8
АОД201Г-1	1,5	0,6/5	800/20	2	$1 \cdot 10^{10}$	1,8
АОД201Д-1	1,5	0,9/5	800/20	2	$1 \cdot 10^{10}$	1,8
АОД201Е-1	1,5	1,5/5	800/20	2	$1 \cdot 10^{10}$	1,8
ЗОД201А-1	1,5	0,6/5	100/20	2	$1 \cdot 10^{10}$	1,8
ЗОД201Б-1	1,5	0,9/5	100/20	2	$1 \cdot 10^{10}$	1,8
ЗОД201В-1	1,5	1,5/5	100/20	2	$1 \cdot 10^{10}$	1,8
ЗОД201Г-1	1,5	0,6/5	800/20	2	$1 \cdot 10^{10}$	1,8
ЗОД201Д-1	1,5	0,9/5	800/20	2	$1 \cdot 10^{10}$	1,8
ЗОД201Е-1	1,5	1,5/5	800/20	2	$1 \cdot 10^{10}$	1,8
АОД202А	1,7	1,5/—	100/—	1	$1 \cdot 10^{10}$	1
АОД202Б	1,7	2,5/—	150/—	1	$1 \cdot 10^9$	2

Примечание. Время задержки включения не более 70 нс.

Таблица 3.9.

Предельные эксплуатационные параметры диодных оптопар

Параметр	Оптопара											
	АОД101А	АОД101Б	АОД101В	АОД101Г	АОД101Д	3ОД101А	3ОД101Б	3ОД101В	3ОД101Г	АОД107А	АОД107Б	АОД107В
Входной постоянный ток, мА	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Входной импульсный ток при $\tau_и = 100$ мкс, мА	100	100	100	100	100	100	100	100	100	—	—	—
Входное обратное напряжение, В	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	2	2	2
Выходное обратное напряжение, В	15	100	15	15	15	15	100	15	40	15	15	15
Напряжение изоляции, В	100	100	100	100	100	100	100	100	100	—	—	—
Пиковое напряжение изоляции при $\tau_и = 10$ мс	200	200	200	200	200	200	200	200	200	—	—	—
Рабочий интервал температуры окружающей среды, °С	−60 +70	−60 +70	−60 +70	−60 +70	−60 +70	−60 +70	−60 +70	−60 +70	−60 +70	−40 +85	−40 +85	−40 +85

Продолжение табл.

Параметр	Оптопара											
	3ОД107А	3ОД107Б	АОД112А-1	3ОД112-1	АОД120А-1	АОД120Б-1	3ОД120А-1	3ОД121А-1	3ОД121Б-1	3ОД121В-1	АОД201А-1	АОД201Б-1
Входной постоянный ток, мА	20	20	30	30	20	20	20	10	10	10	20	20
Входной импульсный ток при $\tau_и = 100$ мкс, мА	—	—	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Входное обратное напряжение, В	2	2	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	5	5	5	3,5	3,5
Выходное обратное напряжение, В	15	15	—	—	10	10	10	20	20	20	6	6
Напряжение изоляции, В	—	—	100	100	200	200	200	500	500	500	100	100
Пиковое напряжение изоляции при $\tau_и = 10$ мс	—	—	—	—	400	400	400	1000	1000	1000	—	—
Рабочий интервал температуры окружающей среды, °С	−60 +85	−60 +85	−60 +70	−60 +70	−60 +85	−60 +85	−60 +85	−60 +85	−60 +85	−60 +85	−60 +70	−60 +70

Параметр	Оптопара											
	АОД201В-1	АОД201Г-1	АОД201Д-1	АОД201Е-1	ЗОД201А-1	ЗОД201Б-1	ЗОД201В-1	ЗОД201Г-1	ЗОД201Д-1	ЗОД201Е-1	АОД202А	АОД202Б
Входной постоянный ток, мА	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	100	100
Входной импульсный ток при $\tau_и = 100$ мкс, мА	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	—	—
Входное обратное напряжение, В	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	20	20
Выходное обратное напряжение, В	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	—	—
Напряжение изоляции, В	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	200	200
Пиковое напряжение изоляции при $\tau_и = 10$ мс	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Рабочий интервал температуры окружающей среды, °С	−60 +70	−60 +70	−60 +70	−60 +70	−60 +85	−60 +85	−60 +85	−60 +85	−60 +85	−60 +85	−60 +85	−60 +85

Предельная рабочая частота 100 кГц.

Входной средний ток не более 40 мА.

Входной импульсный ток при длительности импульса 10 мкс не более 100 мА.

Выходное обратное напряжение не более 6 В.

Дифференциальный коэффициент передачи по току при входном токе 10 мА и обратном напряжении 5 В, определяемый сигналом обоих фотоприемников не менее $1 \cdot 10^{-4}$.

Масса не более 0,5 г.

Двухканальные транзисторные оптопары АОТ101АС, АОТ101БС, АО1101ВС, АОТ101ГС, АОТ101ДС, АО101ЕС, АОТ101ЖС, АОТ101ИС. Содержат одну или две электрически независимые оптопары с фототранзисторами структуры n-p-n. Действующие каналы оптопар:

АОТ101АС	1,2	АОТ101ДС	1
АОТ101БС	1,2	АОТ101ЕС	2
АО101ВС	1	АОТ101ЖС	1,2
АОТ101ГС	2	АОТ101ИС	1,2

Приборы предназначены для гальванической развязки и электронной бесконтактной коммутации цепей однополярного тока.

Корпус пластмассовый.

Масса не более 1,5 г.

Таблица 3.10.

Параметры многоканальных диодных оптопар при температуре

Параметр	Оптопара				
	АОД109А	АОД109Б	АОД109В	АОД109Г	АОД109Д
Входное напряжение, В, при входном токе 10 мА, не более	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Коэффициент передачи по току, %, при входном токе 10 мА, не менее	1,2	1	1,2	1,2	1,2
Время нарастания и спада выходного импульса, мкс, не более	0,5	1	0,5	0,5	0,5
Число каналов в оптроне	3	3	2	2	2
Номера действующих каналов	1, 2, 3	1, 2, 3	1,2	1,3	2,3

Примечание. 1. Выходной обратный темновой ток не более 2 мкА.
2. Сопротивление изоляции не менее $1 \cdot 10^9$ Ом.
3. Проходная емкость не более 2 пФ.
4. Емкость между каналами не более 2 пФ.

Параметры оптопар с однопереходными фототранзисторами. Входное напряжение — постоянное прямое напряжение на диоде — излучателе при заданном входном токе.

Выходной ток выключателя — наименьший ток эмиттера, при котором фототранзистор остается открытым при отсутствии входного тока.

Выходное остаточное напряжение — прямое напряжение на участке эмиттер — база 2 открытого фототранзистора.

Межбазовое сопротивление при заданном межбазовом напряжении в отсутствие входного сигнала.

Коэффициент передачи равен отношению напряжения включения эмиттера к приложенному межбазовому напряжению при отсутствии входного тока.

Время включения — интервал между моментом достижения входного импульсного уровня 0,5 и тока эмиттера — уровня 0,9 максимального значения. Основные параметры оптопар с однопереходными фототранзисторами АОТ102А, АОТ102Б, АОТ102В, АОТ102Г, АОТ102Д, АОТ102Е, 3ОТ102А, 3ОТ102Б, 3ОТ102В, 3ОТ102Г, 3ОТ102Д, 3ОТ102Е при температуре окружающей среды +25° С.

Входное напряжение, В, при входном токе 15 мА, не более 2

Коэффициент передачи при $U_{Б1\,Б2} = 10$ В

АОТ102А, 3ОТ102А . . . . 0,5 . . . 0,55
АОТ102Б, 3ОТ102Б . . . . 0,54 . . . 0,6
АОТ102В, 3ОТ102В . . . . 0,59 . . . 0,66
АОТ102Г, 3ОТ102Г . . . . 0,64 . . . 0,71
АОТ102Д, 3ОТ102Д . . . . 0,7 . . . 0,78
АОТ102Е, 3ОТ102Е . . . . 0,77 . . . 0,85

окружающей среды +25 °С

АОД109Е	АОД109Ж	АОД109И	3О109А	3О109Б	3ОД109В	3ОД109Г	3ОД109Д
1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
1,2	1,2	1,2	1,2	1	1,2	1,2	1,2
0,5	0,5	0,5	0,5	1	0,5	0,5	0,5
1 —	1 —	1 —	3 1, 2, 3	3 1, 2, 3	2 1,2	2 1,3	2 2,3

Изменение коэффициента передачи при $U_{Б1\,Б2}=10$ В, %, не менее:

при $I_{вх}=15$ мА 10
при $I_{вх}=40$ мА 20

Выходной ток включения при $U_{Б1\,Б2}=20$ В, мА, не менее 1

Выходное остаточное напряжение при $U_{Э}=50$ мА, В, не более 4

Ток утечки эмиттерного перехода при $U_{Б1\,Б2}=30$ В, мкА, не более 1

Межбазовое сопротивление, кОм . . . . 4—12

Время включения при $I_{Э}=50$ мА, мкс, не более . . . 5

Частота генерации, кГц, не менее 200

Сопротивление изоляции, Ом, не менее . . . . 10^{8}

Предельные эксплуатационные параметры

Входной постоянный ток, мА 40

Входной импульсный ток при $\tau_{и}=10$ мкс и $Q=200$, мА 150

Постоянный ток эмиттера, мА 50

Импульсный ток эмиттера при $\tau_{и}=10$ мкс и $Q=200$, А 1

Межбазовое напряжение, В 30

Обратное напряжение участка эмиттер—база 2, В . . . 30

Рассеиваемая мощность, мВт:

при $T_{окр.ср}\leqslant35$ °С 300
при $T_{окр.ср}=70$ °С для 3ОТ102А—3ОТ102Е . . . 165

Таблица 3.11.

Основные параметры транзисторных оптопар при температуре

Параметр	Оптопара							
	АОТ110А	АОТ110Б	АОТ110В	АОТ110Г	3ОТ110А	3ОТ110Б	3ОТ110В	3ОТ110Г
Входное напряжение В, не более	2	2	2	2	2	2	2	2
при входном токе, мА	25	25	25	25	25	25	25	25
Выходное остаточное напряжение, В, не более	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
при входном токе, мА	200	100	100	200	200	100	100	200
Ток утечки на выходе, мкА, не более	100	100	100	100	100	100	100	100
при напряжении коммутации, В	30	50	30	15	30	50	30	15
Входной ток номинальный, мА	10	10	10	10	10	10	10	10
Время включения,* мкс	1—50	1—50	1—50	1—50	1—50	1—50	1—50	1—50
Время выключения,* мкс	5—100	5—100	5 100	5—100	5—100	5—100	5—100	5 100
Ток утечки на выходе, мкА, не более	—	—	—	—	—	—	—	—
при напряжении коммутации, В	—	—	—	—	—	—	—	—
Время нарастания и спада выходного тока, мкс, не более	—	—	—	—	—	—	—	—

* При входном токе 25 мА, сопротивлении нагрузки 100 Ом и напряжении коммутации

Примечание. Сопротивление изоляции не менее 1·10[9] Ом.

Напряжение изоляции, В:
при $T_{окр\ ср} \leqslant 35$ °С 500
при $T_{окр.ср} = 35 \ldots 70$ °С 200
Интервал температуры окружающей среды, °С для:
АОТ102А—АОТ102Е . . . . —45...+55
3ОТ102—3ОТ102Е . . . . —60...+70

Примечание. Подача обратного напряжения на вход оптрона не допускается.

Транзисторные оптопары АОТ137А, АОТ137Б с открытым оптическим каналом предназначены для использования в радиоэлектронной аппаратуре в качестве первичных фотоэлектрических преобразователей (датчиков) линейного и углового перемещения.

Корпус пластмассово-керамический. Масса не более 0,3 г.

окружающей среды +25 °С

АОТ122А	АОТ125Б	АОТ122В	АОТ122Г	АОТ123А	АОТ123Б	АОТ123В	АОТ123Г	3ОТ123А	3ОТ123Б	3ОТ123В	3ОТ123Г
1,6	1,6	1,6	1,6	2	2	2	2	2	2	2	2
5	5	5	5	20	20	20	20	20	20	20	20
1,5	1,5	1,5	1,5	0,3	0,5	0,3	0,5	0,3	0,5	0,3	0,5
15	25	15	15	10	20	10	20	10	20	10	20
10	10	10	10	—	—	—	—	—	—	—	—
50	30	30	15	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	10	10	10	10	10	10	10	10
—	—	—	—	50	30	30	15	50	30	30	15
—	—	—	—	2	2	2	2	4	4	4	4

11 В.

Параметры тиристорных оптопар. Входной ток срабатывания — постоянный прямой входной ток, переводящий фототиристор в открытое состояние при заданном режиме на выходе.

Входной импульсный ток срабатывания — амплитуда входного импульсного тока заданной длительности, переводящая фототиристор в открытое состояние.

Входное постоянное напряжение на входе при заданном режиме.

Выходной обратный ток в выходной цепи при закрытом фототиристоре.

Выходной удерживающий ток, при котором фототиристор еще находится в открытом состоянии в отсутствии входного тока.

Выходной минимальный ток при подаче управляющего сигнала, при котором фототиристор еще находится в открытом состоянии при наличии входного сигнала.

Таблица 3.12.

Предельные эксплуатационные параметры транзисторных оптопар

Параметр	Оптопара															
	АОТ110А	АОТ110Б	АОТ110В	АОТ110Г	3ОТ110А	3Т110Б	3ОТ110В	3ОТ110Г	АОТ123А	АОТ123Б	АОТ123В	АОТ123Г	3ОТ123А	3ОТ123Б	3ОТ123В	3ОТ123Г
Входной постоянный или средний ток, мА:																
при $T_{окр.ср} \leqslant 35$ °C	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
при $T_{окр.ср} = 70$ °C	15	15	15	15	15	15	15	15	—	—	—	—	—	—	—	—
Входной импульсный ток при $\tau_и = 10$ мкс;																
при $T_{окр.ср} \leqslant 35$ °C	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
при $T_{окр.ср} = 70$ °C	85	85	85	85	85	85	85	85	—	—	—	—	—	—	—	—
Входное обратное напряжение, В	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Средняя рассеиваемая мощность, мВт:																
при $T_{окр.ср} \leqslant 35$ °C	360	360	360	360	360	360	360	360	—	—	—	—	—	—	—	—
при $T_{окр.ср} = 70$ °C	80	80	80	80	80	80	80	80	—	—	—	—	—	—	—	—
Коммутируемое напряжение на выходе, В, при $T_{окр.ср} = 70$ °C	30	50	30	15	30	50	30	15	50	30	30	15	50	30	30	15
Выходной ток, мА, при $T_{окр.ср} \leqslant 35$ °C	200	100	100	200	200	100	100	200	10	20	10	20	10	20	10	20
Выходной импульсный ток, мА, при $\tau_и = 10$ мс и $T_{окр.ср} = 70$ °C	200	100	100	200	200	100	100	200	—	—	—	—	—	—	—	—
Напряжение изоляции, В	100	100	100	100	100	100	100	100	—	—	—	—	—	—	—	—

Примечание. Интервал температуры окружающей среды −60 . . . +70 °C.

Выходное минимальное напряжение в закрытом состоянии, при котором обеспечивается включение фототиристора при заданном сигнале на входе и сохранении фототиристора в открытом состоянии.

Максимально допустимая емкость нагрузки.

Максимально допустимая скорость нарастания напряжения источника питания.

Максимально допустимая средняя рассеиваемая мощность.

3.5. Оптоэлектронные интегральные микросхемы

Оптоэлектронные микросхемы, кроме одного или нескольких излучателей и фотоприемников, содержат устройства формирования, усиления и обработки электрических сигналов.

Таблица 3.13.

Основные параметры оптопар АОТ101АС АОТ101ИС

Параметр и режим измерения	Оптопара								
	АОТ101АС АОТ101ВС АОТ101ГС		АОТ101БС АОТ101ДС АОТ101ЕС		АОТ101ЖС		АОТ101ИС		Температура, °С
	не менее	не более	не менее	не более	не менее	не более	не менее	не более	
Входное напряжение, В, при входном токе $I_{вх}=5$ мА	—	1,6	—	1,6	—	1,6	—	1,6	25±10
	—	1,6	—	1,6	—	—	—	—	70±3
	—	—	—	—	—	1,6	—	1,6	85±3
	—	1,7	—	1,7	—	1,7	—	1,7	—10±3
Выходное остаточное напряжение, В, при: входном токе, мА / выходном токе, мА									
2,5 / 0,5	—	0,4	—	—	—	—	—	—	25±10
5 / 1,5	—	0,4	—	—	—	—	—	—	70±3
5 / 1,5	—	0,4	—	0,4	—	—	—	—	—10±3
10 / 10									25±10
5 / 1,5	—	—	—	0,4	—	—	—	—	70±3
5 / 1,5	—	—	—	0,4	—	—	—	—	—10±3
5 / 2,5	—	—	—	—	—	0,4	—	0,4	25±10
5 / 1,5	—	—	—	—	—	0,4	—	0,4	85±3
5 / 1,5	—	—	—	—	—	0,4	—	0,4	—10±3
Ток утечки на выходе, мкА, при нулевом входном токе и напряжении коммутации, В									
10	—	10	—	10	—	—	—	—	25±10
	—	100	—	100	—	—	—	—	70±3
	—	10	—	10	—	—	—	—	—10±3
15	—	—	—	—	—	—	—	10	25±10
	—	—	—	—	—	—	—	100	85±3
	—	—	—	—	—	—	—	10	—10±3
30	—	—	—	—	—	10	—	—	25±10
	—	—	—	—	—	100	—	—	85±3
	—	—	—	—	—	10	—	—	—10±3
Сопротивление изоляции, Ом, при напряжении 500 В	$1\cdot10^{11}$	—	$1\cdot10^{11}$	—	—	—	$1\cdot10^{11}$	—	25±10

Наиболее массовое применение получили следующие оптоэлектронные интегральные микросхемы:

коммутаторы электрических сигналов на основе диодных оптопар К249КН1 (А—Е), 249КН1 (А—Е);

коммутаторы на основе транзисторных оптопар К249КП1, К249КП2, 249КП1;

Таблица 3.14.

Основные параметры

Параметр и режим измерения	Не менее	Не более	Температура, °С
Входное напряжение, В, при $I_{вх}=10$ мА	—	1,7	25
	—	1,7	70
	—	1,85	—45
Коэффициент передачи по току при $I_{вх}=10$ мА и $U_{обр}=5$ В	1	—	25
	0,7	—	70
	1	—	—45
Время нарастания и спада выходного сигнала, нс, при $I_{вх.имп}=10$ мА и $U_{обр}=10$ В	—	100	25
Сопротивление изоляции, Ом, при U=500 В	10^{10}		25
Проходная емкость, пФ	—	2	—
Ток утечки на выходе, мкА, при $I_{вх}=0$ и $U_{обр}=8$ В	—	2	25

Таблица 3.15.

Основные параметры

Параметр	АОТ137А	АОТ137Б	Температура, °С
	не более	не более	
Входное напряжение при входном токе $I_{вх}=10$ мА, В	1,8	1,8	25±10
	1,8	1,8	85±3
	2	2	—25±3
Выходное остаточное напряжение, В, при $I_{вх}=10$ мА и $I_{вых}$			
20 мкА	0,4	—	25±10
20 мкА	0,4	—	85±3
6 мкА	0,4	—	—25±3
Выходное остаточное напряжение, В при $I_{вх}=10$ мА и $I_{вых}$			
100 мкА	—	0,4	25±10
100 мкА	—	0,4	65±3
50 мкА	—	0,4	—25±3
Выходное остаточное напряжение, В при $I_{вх}=4$ мА и $I_{вых}$			
8 мкА	0,4	—	25±10
8 мкА	0,4	—	85±3
2,5 мкА	0,4	—	—25±3
Ток утечки на выходе при напряжении коммутации 5 В и нулевом входном токе, мкА	0,1	0,1	25±10
	2	10	85±3
	0,1	0,1	—25±3

переключатели-инверторы на основе диодных оптопар К249ЛП1 (А—Г), 249ЛП1 (А—В), 249ЛП3 (А—В);

переключатели на основе p-i-n диодных оптопар с усилителями К262КП1 (А, Б), 262КП1 (А, Б);

Таблица 3 16

Основные характеристики тиристорных оптопар при температуре окружающей среды +25 °С

Параметр	Оптопара							
	АОУ103А	АОУ103Б	АОУ103В	3ОУ103А	3ОУ103Б	3ОУ103В	3ОУ103Г	3ОУД103Д
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Входной ток срабатывания фототиристора, мА, при $U_{вых}$=10 В, не более	20	20	20	20	20	10	20	15
Входной импульсный ток срабатывания при $\tau_и$=10 мкс, мА, не более	—	—	—	80	80	40	80	60
Входное напряжение не более 2 В при входном токе, мА	—	—	—	20	20	10	20	15
Выходной ток при $U_{вых\,max}$, мкА, не более	100	100	100	50	50	50	50	50
Выходной обратный ток при $U_{вых.обр\,max}$, мкА, не более	—	—	100	50	50	50	50	50
Выходное напряжение в открытом состоянии фототиристора при выходном токе 100 мА, В, не более	2	2	2	2	2	2	2	2
Выходной удерживающий и ток при $U_{вых}$=10 В, мА, не более	10	10	10	6	6	6	6	6
Выходной минимальный ток при подаче управляющего сигнала, мА	—	—	—	1	1	1	1	1
Выходное минимальное прямое постоянное напряжение в закрытом состоянии фоторисора, В	—	—	—	10	10	10	10	10
Время включения, мкс, не более	15	15	15	10	10	10	10	10
Время выключения при $I_{вых}$=100 мА, мкс, не более	100	100	100	35	35	35	35	35

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Сопротивление изоляции при максимальном напряжении, Ом, не менее	$1 \cdot 10^9$	$1 \cdot 10^9$	$1 \cdot 10^9$	$5 \cdot 10^8$	$5 \cdot 10^8$	$5 \cdot 10^8$	$5 \cdot 10^8$	$5 \cdot 10^8$
Проходная емкость, пФ, не более	3	3	3	2	2	2	2	2
Выходная емкость, пФ, не более	20	20	20	25	25	25	25	25

переключатели-инверторы на основе диодных оптопар К293ЛП1 (А, Б);

реле постоянного тока на основе тиристорных оптопар К295КТ1 (А—Г), 295КТ1 (А—Г);

одновибраторы на основе тиристорных оптопар К295АГ1 (А—Д); реле на основе тиристорных оптопар для управления тиристорными переключателями средней мощности 415КТ1 (А, Б). Оптоэлектронные интегральные микросхемы К293ЛП1 (А, Б) выпускаются в пластмассовом корпусе, остальные — в металлостеклянном.

Основные параметры оптоэлектронных микросхем. Коммутируемый ток оптоэлектронного коммутатора $I_{ком}$ — значение тока, протекающего в выходной цепи оптоэлектронного коммутатора в открытом состоянии.

Напряжение питания оптоэлектронного переключателя $U_{пит}$ — значение напряжения источника питания, обеспечивающего работу оптоэлектронного переключателя в заданном режиме.

Выходной ток высокого уровня оптоэлектронного переключателя $I^1_{вых}$ — значение выходного тока при выходном напряжении высокого уровня оптоэлектронного переключателя.

Выходной ток низкого уровня оптоэлектронного переключателя $I^0_{вых}$ — значение выходного тока при выходном напряжении низкого уровня оптоэлектронного переключателя.

Пороговый входной ток высокого уровня $I^1_{пор}$ — наименьшее значение входного тока высокого уровня оптоэлектронного переключателя, при котором происходит переход из одного устойчивого состояния в другое.

Пороговый входной ток низкого уровня $I^0_{пор}$ — наибольшее значение входного тока низкого уровня оптоэлектронного переключателя, при котором происходит переход из одного устойчивого состояния в другое.

Потребляемый ток при высоком уровне выходного напряжения $I^1_{пот}$ — значение тока, потребляемого оптоэлектронным переключателем от источника питания при выходном напряжении высокого уровня.

Потребляемый ток при низком уровне $I^0_{пот}$ — значение тока, потребляемого оптоэлектронным переключателем от источника питания при выходном напряжении низкого уровня.

Таблица 3.17.

Предельные эксплуатационные параметры тиристорных оптопар

Параметр	Оптопара							
	АОУ103А	АОУ103Б	АОУ103В	ЗОУ103А	ЗОУ103Б	ЗОУ103В	ЗОУ103Г	ЗОУ103Д
Входной постоянный или средний ток, мА	55	55	55	30	30	30	30	30
Входной импульсный ток при среднем токе 2 мА и $\tau_{и}=100$ мкс, мА, не более	—	—	—	500	500	500	500	500
Входной ток помехи, мА	0,5	0,5	0,5	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Входное напряжение помехи, В	—	—	—	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Входное обратное напряжение, В	2	2	2	2	2	2	2	2
Выходной постоянный прямой ток, мА:								
при $T_{окр.ср}\leq 50$ °C	100	100	100	100	100	100	100	100
при $T_{окр.ср}=70$ °C	20	20	20	30	30	30	30	30
Выходной средний прямой ток:								
при $T_{окр.ср}\leq 50$ °C	15	15	15	15	15	15	15	15
при $T_{окр.ср}=70$ °C	5	5	5	5	5	5	5	5
Выходной средний прямой ток при угле горения 180°, мА:								
при $T_{окр.ср}\leq 50$ °C	50	50	50	50	50	50	50	50
при $T_{окр.ср}=70$ °C	10	10	10	15	15	15	15	15
Выходной импульсный прямой ток при $\tau_{и}=50$ мкс, мА:								
при $T_{окр.ср}\leq 50$ °C и $I_{вых.ср}=10$ мА	—	—	—	500	500	500	500	500
при $T_{окр.ср}=70$ °C и $I_{вых.ср}=3$ мА	—	—	—	150	150	150	150	150
Выходное постоянное прямое напряжение на закрытом фоторезисторе, В	50	200	200	50	200	200	400	200
Выходное обратное постоянное напряжение,* В			2	5	200	200	400	200
Выходная мощность рассеивания фототиристора, мВт:								
при $T_{окр.ср}\leq 50$ °C	—	—	—	130	130	130	130	130
при $T_{окр.ср}=70$ °C	—	—	—	40	40	40	40	40

* Для АОУ103А и АОУ103Б включение обратного напряжения не допускается.

Примечание. 1. Интервал температуры окружающей среды —60 . . . +70 °C.
2. Напряжение изоляции 500 В.

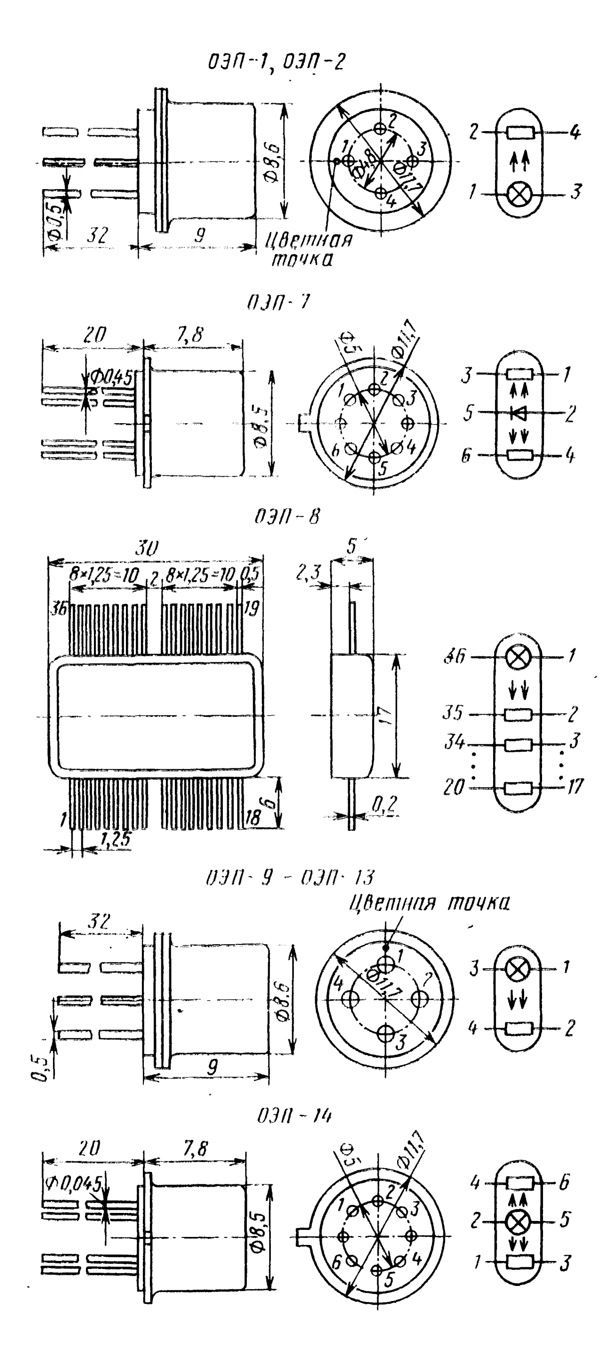
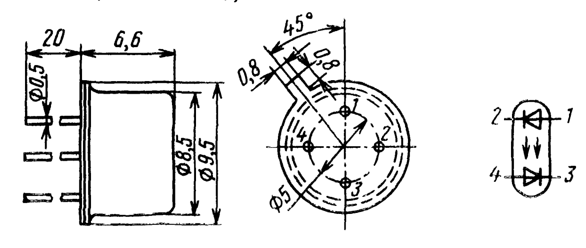
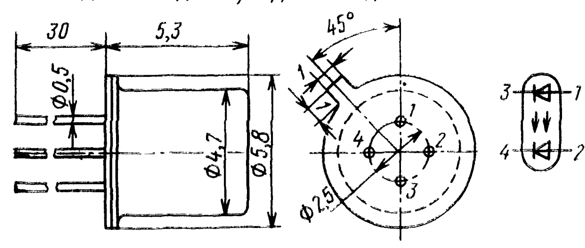

ОЭП-1, ОЭП-2
Цветная точка
ОЭП-7
ОЭП-8
ОЭП-9 – ОЭП-13
Цветная точка
ОЭП-14

Рис. 3.4

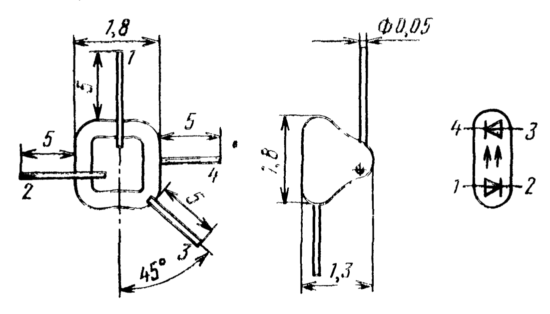
АОД101А–АОД101Д, 3ОД101А–3ОД101Г



АОД107А–АОД107В, 3ОД107А–3ОД107Б



АОД112А-1, 3ОД112А-1



АОД120А-1, АОД120Б-1, 3ОД120А-1

Рис. 3.4 (продолжение)

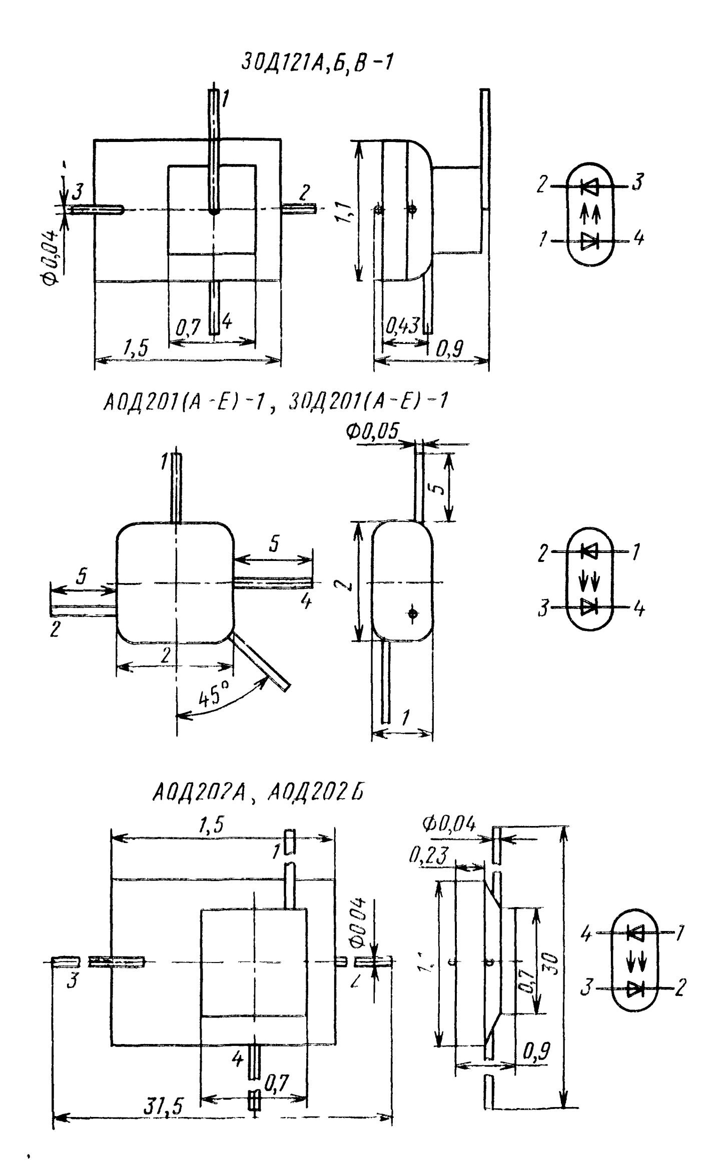
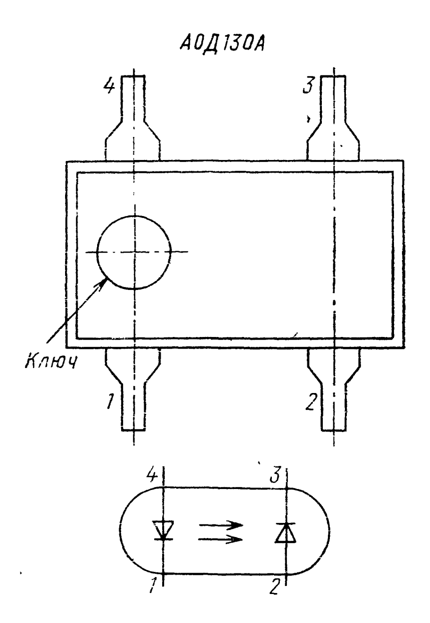
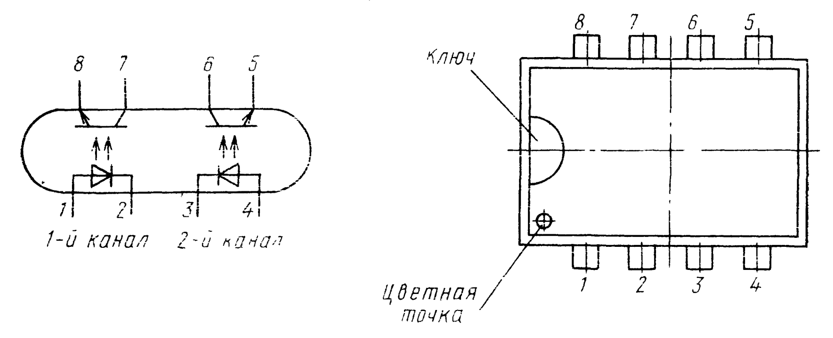


Рис. 3.4 (продолжение)





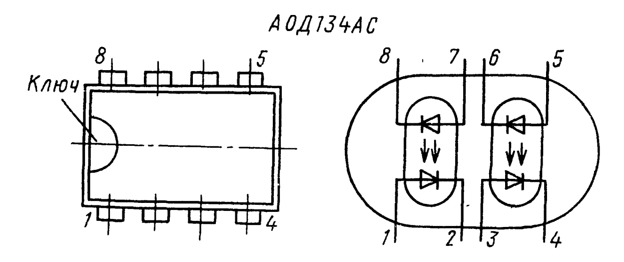
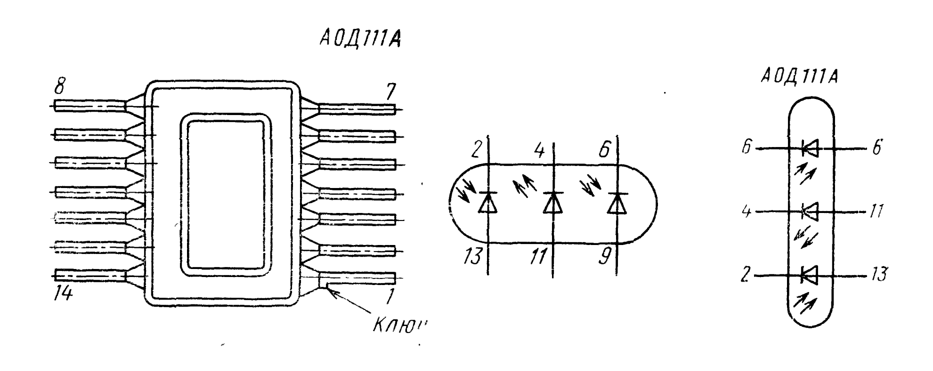


Рис. 3.4 (продолжение)



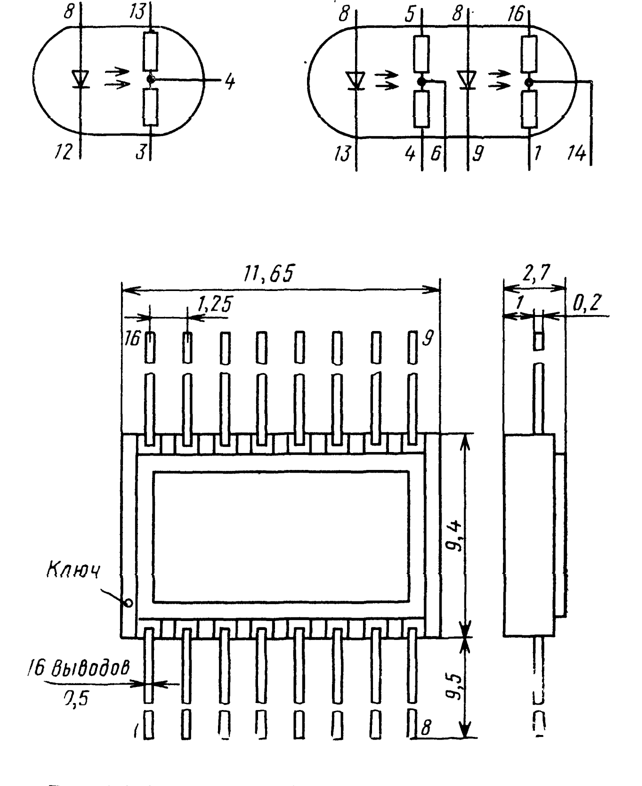


Рис. 3.4 (продолжение)

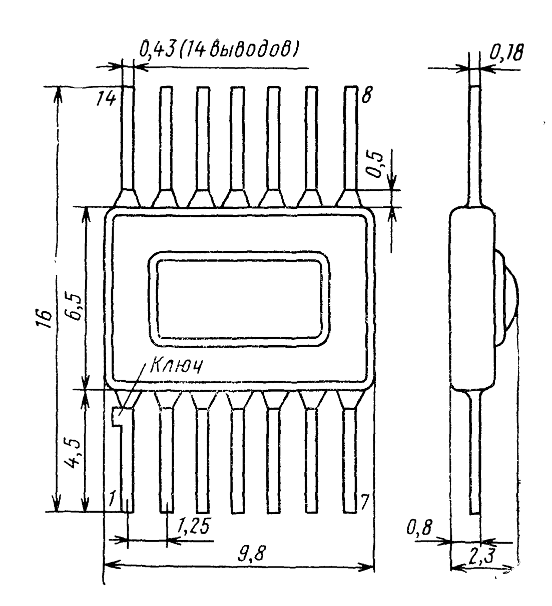
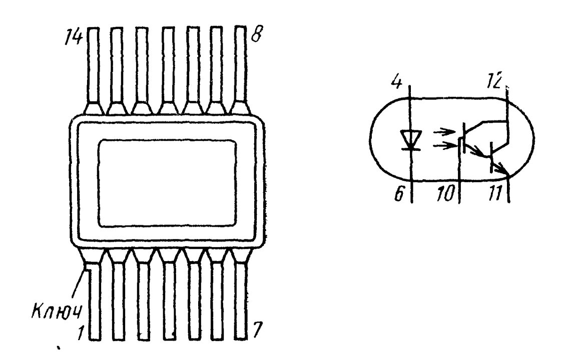


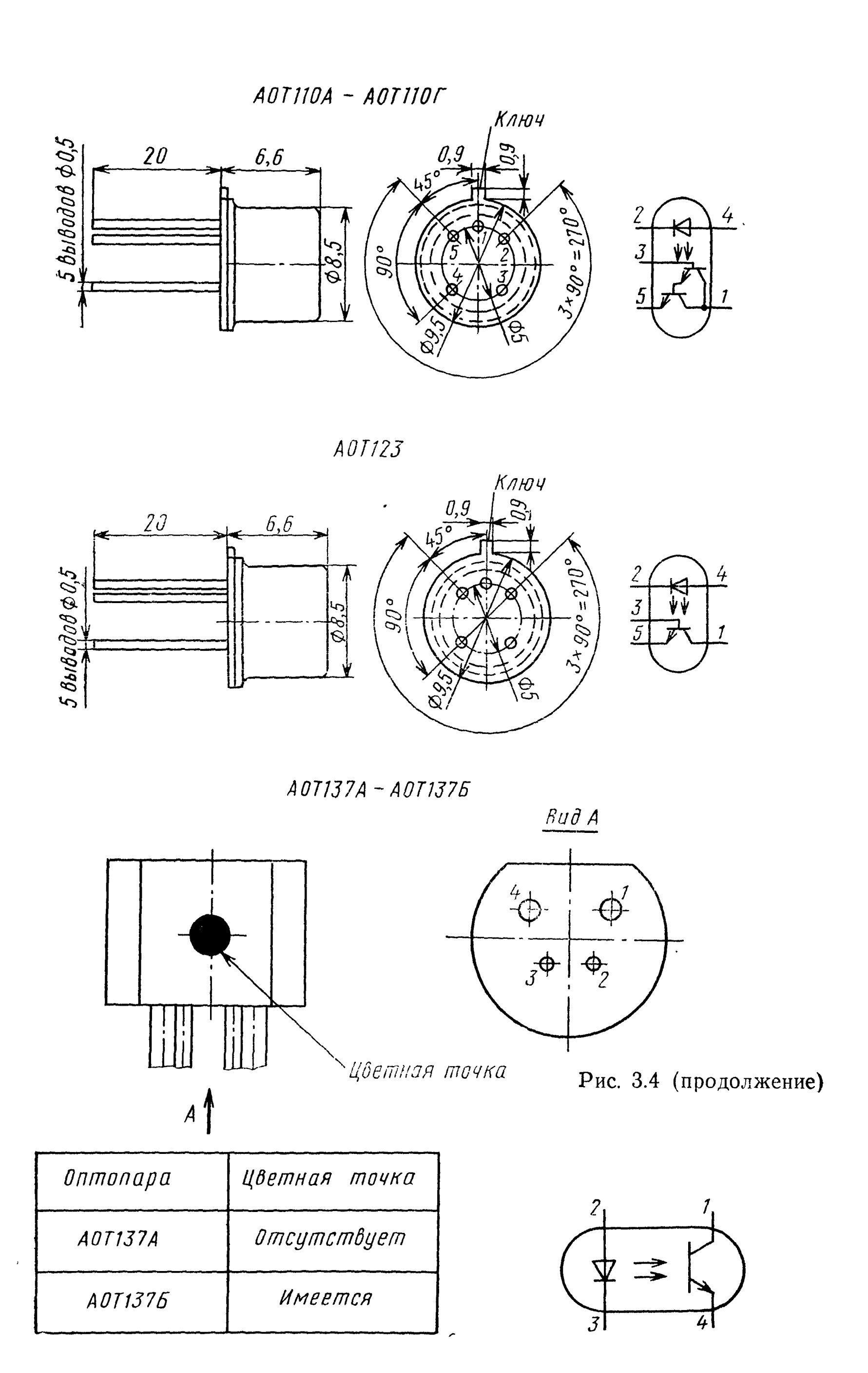
Рис. 3.4
(продолжение)

АОТ122А - АОТ122Г



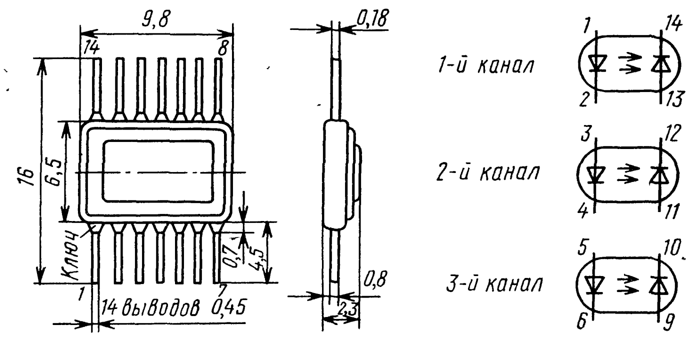
АОУ103А - АОУ103В

20 6,6 Φ9,4 Φ8,5 Φ0,5 Φ5 1 2 3 4



Оптопара	Цветная точка
АОТ137А	Отсутствует
АОТ137Б	Имеется

Рис. 3.4 (продолжение)



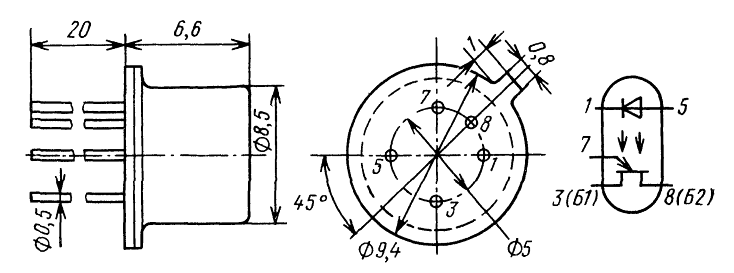


Рис. 3.4 (окончание)

Динамический потребляемый ток $I_{пот.дин}$ — значение тока, потребляемого оптоэлектронным переключателем от источника питания в режиме переключения.

Время задержки включения $t_{зд}^{10}$ — интервал времени между входным и выходным импульсами при переходе напряжения на выходе оптоэлектронного переключателя от высокого к низкому уровню, измеренный на уровне 0,1 или на других заданных значениях напряжения.

Время задержки выключения $t_{зд}^{01}$ — интервал времени между входным и выходным импульсами при переходе напряжения на выходе оптоэлектронного переключателя от низкого уровня к высокому, измеренный на уровне 0,9 или на других заданных значениях напряжения.

Время задержки распространения сигнала при включении $t_{зд.р}^{10}$ — интервал времени между входным и выходным импульсами при переходе напряжения на выходе оптоэлектронного переключателя от высокого уровня к низкому, измеренный на уровне 0,5 или на других заданных значениях напряжения.

Время задержки распространения сигнала при выключении $t_{зд.р}^{01}$ — интервал времени между входным и выходным импульсами при переходе напряжения на выходе оптоэлектронного переключателя от низкого уровня к высокому, измеренный на уровне 0,5 или на других заданных значениях напряжения.

Время перехода при включении t^{10} — интервал времени, в течение которого напряжение на выходе оптоэлектронного переключателя переходит от высокого уровня к низкому, измеренный на уровнях 0,1 и 0,9 или на других заданных значениях напряжения.

Время перехода при выключении t^{01} — интервал времени, в течение которого напряжение на выходе оптоэлектронного переключателя переходит от низкого уровня к высокому, измеренный на уровнях 0,1 и 0,9 или на других заданных значениях напряжения.

Коэффициент разветвления по выходу N — число единичных нагрузок, которые можно одновременно подключить к выходу оптоэлектронного переключателя.

Основные параметры оптоэлектронных интегральных микросхем К294КН1 (А—Д) и К242КП приведены в табл. 3.18, 3.19, внешний вид и электрические схемы микросхем показаны на рис. 3.5.

Предельные эксплуатационные параметры К249КН1 (А—Е)

Входной постоянный ток, мА	30
Входной импульсный ток при $\tau_и = 10$ мкс, мА	100
Входное обратное напряжение, В	3,5
Коммутируемое напряжение, В	30
Коммутируемый ток, мкА	500
Напряжение между входом и выходом, В	100

Примечание: 1. Для микросхем К249КП2 гарантируется работоспособность только одного канала, 1-й вывод обозначается точкой.

2. Измеряют коэффциент передачи тока К при $U_{ком} = 10$ В и $R_н = 1200$ Ом.

Таблица 3.18.

Основные параметры микросхем К249КН1А, К249КН1Б, К249КН1В, К249ЕН1Г, К249КН1Д, К249КН1Е

Параметр, режим измерения	К249КН1А, К249КН1Б, К249КН1В		К249КН1Г, К249КН1Д, К249КН1Е		Температура, °С
	не менее	не более	не менее	не более	
Входное напряжение, В, при входном токе от 19 до 21 мА	—	3,5	—	3,5	25±10
	—	3,5	—	3,5	70±3
	—	4	—	4	—60±3
Нулевое остаточное напряжение, мкВ, при нулевом напряжении коммутации и входном токе от 19 до 21 мА	—	200	—	200	25±10
	—	350	—	350	70±3
	—	700	—	700	—60±3
Ток утечки на выходе, нА, при нулевом входном токе и напряжении коммутации от 27 до 30 В	—	50	—	50	25±10
	—	200	—	200	10±3
	—	200	—	200	—60±3
Время включения, мкс, при $U_{ком}=30$ В, $I_{вх.имп}=20$ мА, $I_{ком}=0{,}5$ мА для группы А—В и $I_{ком}=0{,}1$ мА для групп Г—Е	—	—	10	10	25±10
Время выключения, мкс, при $U_{ком}=30$ В, $I_{вх.имп}=20$ мА, $I_{ком}=0{,}5$ мА для групп А—В и $I_{ком}=0{,}1$ мА для групп Г, Д, Е	—	—	10	10	25±10
Сопротивление в открытом состоянии, Ом, при:	—	—	200	—	25±10
$I_{вх}$=от 19 до 21 мА	—	—	300	—	—60±3
$I_{ком}$=от 0,45 до 0,5 мА	—	—	400	—	—60±3
$I_{вх}$=от 19 до 21 мА	—	—	—	200	25±10
$I_{ком}$=от 0,09 до 0,1 мА	—	—	—	300	70±3
				400	—60±3
Сопротивление изоляции, Ом, при напряжении от 90 до 100 В	10^9	—	10^9		25±10
	10^9	—	10^9		70±3
	10^9	—	10^9		—60±3
Проходная емкость, пФ	—	5	—	5	—

3. Измеряют $t_{з.вкл}$ и $t_{з.выкл}$ в импульсном режиме при $I_{вх}=10$ мА; $I_{вх}=5$ мкс (10 мкс); $f=10$ кГц.

4. Сопротивление гальванической развязки P_c, Ом, не менее $5\cdot10^8$.

5. Проходная емкость не более 5 пФ.

6. Коэффициент передачи току К при $I_{вх}=10$ мА ($P_н=1200$ Ом) не менее 0,5 В.

7. Напряжение насыщения на выходе, $U_{вых.нас}$, при $I_{вх}=10$ мА не более 10 В.

Основные параметры микросхем 262КП1А, К262КП1Б, 262КП1А, 262КП1Б при $T_{окр.ср}=25$ °С

Входной ток Лог. 1 $I^1_{вх}$, мА 10
Входной ток Лог. 0 $I^0_{вх}$, мА 0,5
Входное напряжение Лог. 1 $U^1_{вх}$, В 1,4
Входное напряжение Лог. 0 $U^0_{вх}$, В 0,7
Выходное напряжение Лог. 1 $U^1_{вых}$ В, при $I_{вх}=1$ мА, не менее 2,3

Таблица 3.19.

Основные параметры микросхем К249КП1, К249КП2, 242КП1 при $T_{окр.ср}=25$ °С

Параметр	Микросхема					
	К242КП1		К249КП2		242КП1	
	не менее	не более	не менее	не более	не менее	не более
Входное напряжение при $I_{вх}=10$ мА, В, не более	1,5	—	1,5	—	1,3	—
Выходной темновой ток $I_{вых}$, мкА, при	100	—	100	—	10	—
$U_{ком}$, В, не более	30	—	30	—	—	—
Время задержки включения $t_{з.вкл}$, мкс (f=10 кГц), не более	4	8	4	8	4	—
при $R_н$, Ом	100	1000	100	1000	100	1000
$U_{ком}$, В ($I_{ком}$, мА)	10	(2)	10	(2)	10	(2)
Время задержки выключения $t_{з.выкл}$, мкс f=10 кГц):	4	25	4	25	4	25
при $R_н$, Ом	100	1000	100	1000	100	1000
$U_{ком}$, В ($I_{ком}$, мА)	10	(2)	10	(2)	10	12

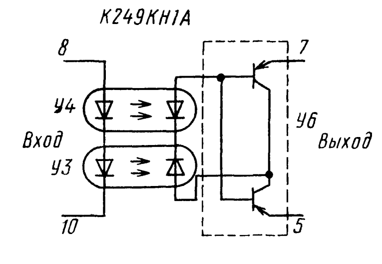
Выходное напряжение Лог. 0 $U^0_{вых}$, В при $I_{вх}=10$ мА, не более 0,3
Потребляемый ток при Лог. 1 $I^1_{пот}$, мА 2
Потребляемый ток при Лог. 0 $I^0_{пот}$, мА, не более . . . 8
Время задержки включения $t_{з.вкл}$, нс, не более . . . 700
Время задержки выключения $t_{з.выкл}$, нс, не более . . . 700
Сопротивление гальванической развязки R_c, Ом, не более 10^8
Проходная емкость C_c, пФ, не более 8

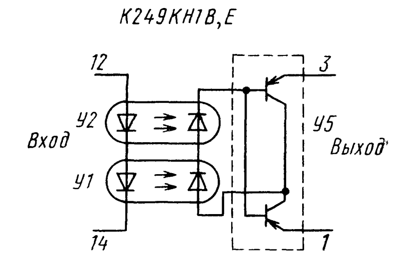
Предельные эксплуатационные параметры

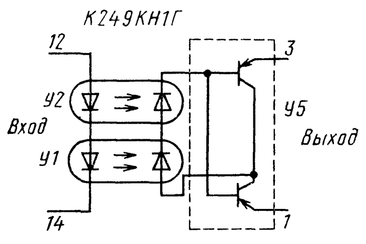
Входной постоянный ток $I_{вх\,max}$, мА 15
Входной импульсный ток $I_{вх.и\,max}$ при $\tau_и$ от 10 до 0,1 мс, мА . . . . 20...30
Входное обратное напряжение $U_{вх.обр\,max}$, В 2
Напряжение питания $U_{пит}$, В . . . . 5±0,5
Входной ток при Лог. 1 $I^1_{вых\,max}$, мА 1
Выходной ток при Лог. 0 $I^0_{вых\,max}$, мА 10
Напряжение между входом и выходом $U_{c\,max}$, В . . . 100
Скорость нарастания напряжения между входом и выходом dU/dt_{max}, В/мкс 10
Длительность фронта входного импульса напряжения $t_{вх.ф\,max}$, нс 100
Длительность спада входного импульса $t_{вх\,с\,max}$, нс . . . 100
Емкость нагрузки $C_{н\,max}$, пФ 40
Интервал температуры окружающей среды, °С для:
К262КП1А, К262КП1Б . . . . —45...+55
262КП1А, 262КП1Б . . . . —60...+70

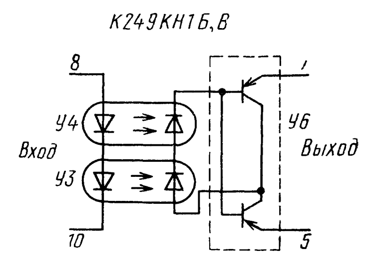
Основные параметры микросхем У249ЛП1А, К249ЛП1Б, К249ЛП1В, 249ЛП1А, 249ЛП1В при $T_{окр}=25$ °С

Входное напряжение $U_{вх}$, В при $I_{вх}=10$ мА, не более . 1,5
Минимальный входной ток $I_{вх\,min}$, мА, не менее 5

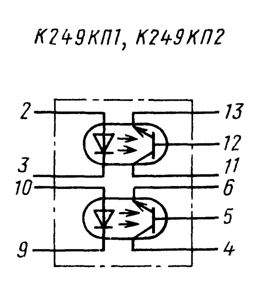








Тип	Число оптопар	Число оптических каналов
К249КН1А	4	1,11
К249КН1Б	2	1
К249КН1В	2	11
К249КН1Г	4	1,11
К249КН1Д	2	1
К249КН1Е	2	11



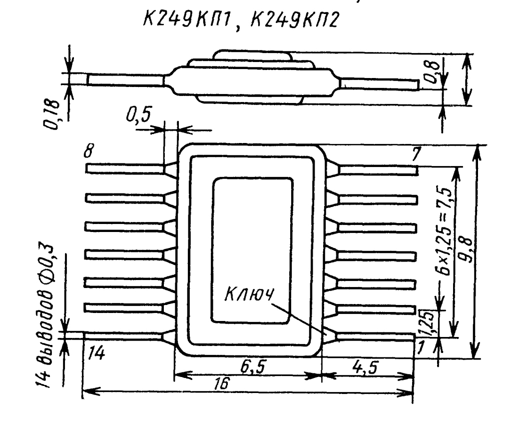
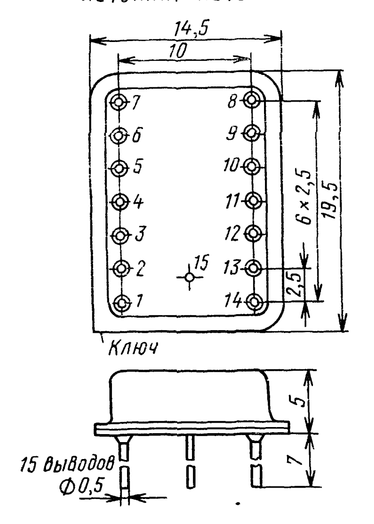
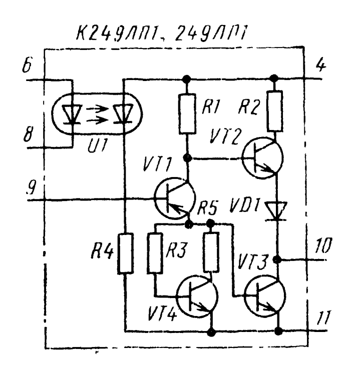
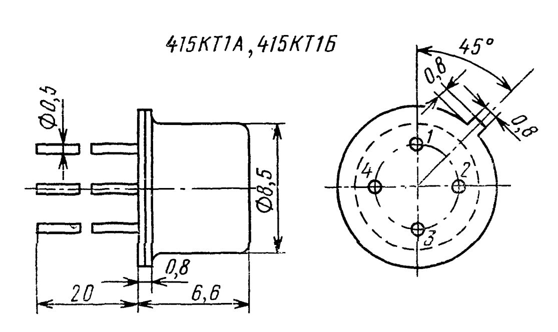


Рис 3.5







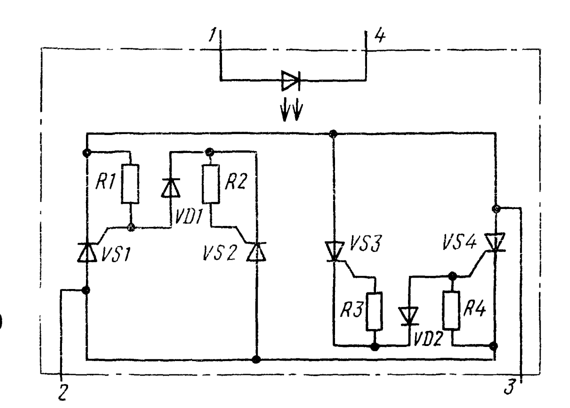
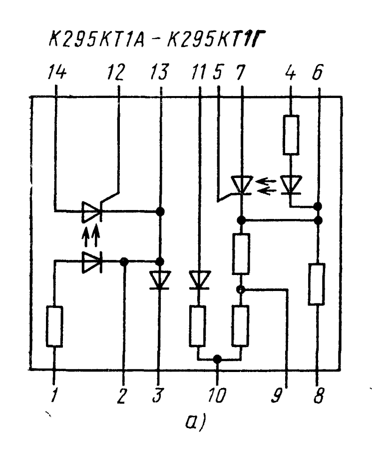
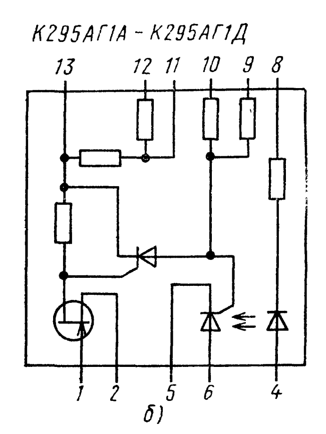
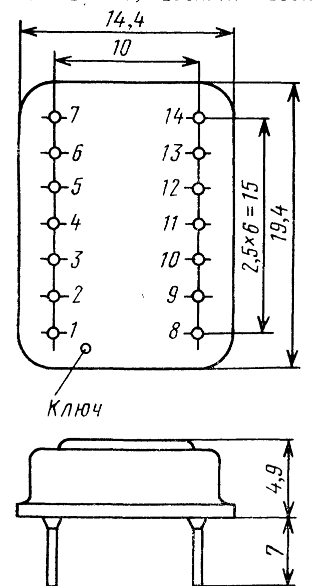


Рис. 3.5
(продолжение)







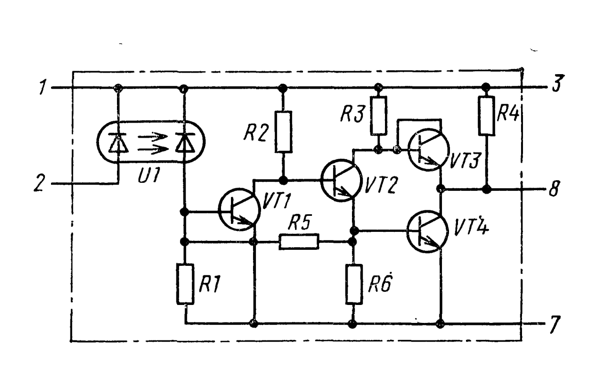


Рис. 3.5 (окончание)

Выходное напряжение Лог. 1 $U^1_{вых}$, В, при $I_{вх}=1$ мА, для К249ЛП1А—К249ЛП1Г, не менее	2,3
Время задержки включения $t_{з.выкл}$, мкс	0,3...1
Время задержки выключения $t_{з.выкл}$, мкс	0,3...1
Сопротивление гальванической развязки R_c, Ом, не менее	10^9
Проходная емкость C_c, пФ, не более	2
Выходное напряжение Лог. 0 $U^0_{вых}$, В, при $I_{вх}=10$ мА, не более	0,3

Предельные эксплуатационные параметры

Входной постоянный ток $I_{вх\,max}$, мА	20
Входной импульсный ток $I_{вх.и\,max}$, при $\tau_и=10$ мкс, мА	100
Входное обратное напряжение $U_{вх.обр\,max}$, В	3,5
Напряжение питания $U_{пит}$, В	5±0,25
Выходной ток при Лог. 1 $I^1_{вых\,max}$, мА	1,5
Выходной ток при Лог. 0 $I^0_{вых\,max}$, мА	1,8
Напряжение между входом и выходом $U_{c\,max}$, В	100

Примечание. 1. Максимально допустимое значение длительности фронта входного сигнала, при котором гарантируется работоспособность прибора, $t_{вх.ф\,max} \leqslant 5$ мс.

2. При изменении длительности импульса $\tau_и$ от 10^{-5} до 10^{-2} с $I_{вх.п\,max}$ определяется по формуле $\left(\frac{80}{3}\lg\frac{10^{-2}}{\tau_и}+20\right)$ мА.

3. Во избежание ложных срабатываний через проходную емкость $C_c \leqslant 2$ пФ не допускается нарастание напряжения на входных выводах (относительно выходных) со скоростью, большей 100 В/мкс. При наличии паразитной монтажной емкости между входными и выходными выводами микросхемы максимально допустимая скорость изменения напряжения на входных выводах должна быть соответственно уменьшена.

Основные параметры микросхем К295АГ1А, К295АГ1Б, К295АГ1В, К295АГ1Г, К295АГ1Д при $T_{окр.ср}=25$ °С

Минимальное напряжение включения $U_{вкл\,min}$, В, не более	3,6
Ток включения $I_{вкл}$, мА	25
Выходное остаточное напряжение $U_{вых.ост}$, В, не более	2,5
Выходной ток утечки $I_{вых.ут}$, мкА, не более	10
Время включения $t_{вкл}$, мкс	50

Предельные эксплуатационные параметры

Напряжение включения $U_{вкл}$, В	5,25
Напряжение питания $U_{пит}$, В	12±10 %
Выходной импульсный ток $I_{вых.и\,max}$ при $\tau_и=2$ мкс, $T_{окр} \leqslant 35$ °С, мА	50...100
Рассеиваемая мощность $P_{рас\,max}$ при $T_{окр} \leqslant 35$ °С, мВт	500
Скорость нарастания напряжения источника питания $(dU_т/dt)_{max}$, В/мкс	0,5
Напряжение между входом и выходом $U_{c\,max}$, В	100

Примечание: 1. Значения $I_{вых.и\,max}$ и $P_{рас\,max}$ в интервале $T_{окр}=35...55$ °С определяются по формулам:
$I_{вых.и\,max}=1$ мА/°С $(85\,°С-T_{окр})$: $P_{рас\,max}=10$ мВт/°С $(85\,°С-T_{окр})$.

2. Мощность, рассеиваемая на микросхеме, определяется по формуле $P_{рас}=f(\tau_{вых}(2\cdot10^{-4}U^2_{пит}+2{,}5I_{вых.и\,max})+0{,}5U^2_{пит}C+10^{-4}U_{пит}+7\cdot10^{-3}U^2\tau_{вх}$, где f — частота запускающих входных импульсов; $\tau_{вых}$ — длительность выходных им-

пульсов; $\tau_{вх}$ — длительность входных импульсов; С — емкость времязадающей цепочки; $U_{пит}$ — напряжение источника питания; $U_{вкл}$ — напряжение включения входное; $I_{вых.и\ max}$ — выходной импульсный ток максимальный.

3. Диапазон рабочих температур —10...125 °С.

Основные параметры микросхем К295КТ1А, К295КТ1Б, КТ295КТ1В, КТ295КТ1Г, при $T_{окр.ср}$=25 °С

Минимальное напряжение включения $U_{вкл\ min}$, В, не более	4,6
Минимальное напряжение выключения $U_{выкл\ min}$, В, не более	4,6
Выходное остаточное напряжение $U_{вых.ост}$, В, не более	2,5
Минимальный выходной ток, $I_{вых\ min}$, мА, не более	15
Выходной ток утечки $I_{вых.ут}$, мкА, не более	50

Предельные эксплуатационные параметры

Напряжение включения $U_{вкл\ max}$, В	5,25
Напряжение выключения $U_{выкл\ max}$, В	5,25
Обратное напряжение включения $U_{обр.вкл\ max}$, В	0,5
Обратное напряжение выключения $U_{обр.выкл\ max}$, В	0,5
Напряжение помехи включения $U_{пом.вкл\ max}$, В	1
Напряжение помехи выключения $U_{пом.выкл\ max}$, В	1
Выходной ток $I_{вых\ max}$, мА	50
Выходной импульсный ток $I^*_{вых.и\ max}$ при $\tau_и$=100 мкс, мА	500
Выходное обратное напряжение $U_{вых.обр\ max}$, В	5
Скорость нарастания выходного напряжения $(dU_{вых}/dt)_{max}$, В/мкс	0,5
Частота выходных импульсов $f_{вых\ max}$, Гц	400
Напряжение между входом и выходом $U_{c\ max}$, В	100

Основные параметры микросхем 415КТ1А, 415КТ1Б при $T_{окр}$=25 °С

	415КТ1А	415КТ1Б
Входной ток срабатывания $I_{вх.сраб}$, мА, не более	15	15
Входное напряжение $U_{вх}$, В, при $I_{вх}$=15 мА, не более	1,8	1,8
Выходной ток срабатывания $I_{вых.сраб}$ при $I_{вх}$= =15 мА	5	5
Выходной ток удержания $I_{вых.уд}$, мА, не более	15	15
Выходной ток в закрытом состоянии $I_{вых.закр}$, мкА, при $U_{вых}$=50 В и $U_{вых}$=100 В, не более	1	1
Выходное напряжение срабатывания $U_{вых.сраб}$, В, при $I_{вх}$=15 мА, не более	12	12
Выходное остаточное напряжение $U_{вых.ост}$, В, при $I_{вых}$=200 мА, не более	12	12
Время включения $t_{вкл}$, мкс, не более	10	10
Время выключения $t_{выкл}$, мкс, не более	140	140
Сопротивление гальванической развязки, R_c, Ом, не менее	10^8	10^8
Проходная емкость C_c, пФ, не более	10	10
Напряжение питания $U_{пит}$, В		

К295КТ1А	12±10 %
КТ295КТ1Б	27±10 %
КТ295КТ1В	48±10 %
К295КТ1Г	100±10 %

---

* Допускается при условии снижения выходного тока к моменту выключения до $I_{вых\ min}$.

Предельные эксплуатационные данные

	415КТ1А		415КТ1Б	
Входной постоянный или средний ток $I_{вх}$, мА	35		35	
Входной импульсный ток $I_{вх.и\,max}$	60	40	60	40
при $\tau_и$, мс	1	10	1	10
при Q	10	2	10	2
Входное обратное напряжение $U_{вх.обр}$, В	2		2	
Выходной средний ток $I_{вых}$, мкА	30		30	
Выходное напряжение в закрытом состоянии $U_{вых.закр}$, В	50		100	
Выходная рассеиваемая мощность $P_{вых.ср}$, мВт	60		60	
Интервал температуры	—60 ... +70 °C			

Список литературы

1. **Аксеенко М. Д., Бараночников М. Л.** Приемники оптического излучения.— М.: Радио и связь, 1987.— 296 с.
2. **Иванов В. И., Аксенов А. И., Юшин А. М.** Полупроводниковые одноэлектронные приборы.— М.: Энергоатомиздат, 1988.— 448 с.
3. **Носов Ю. Р., Сидоров А. С.** Оптроны и их применение.— М.: Радио и связь, 1981.— 276 с.
4. **Мухитдинов М., Мусаев Э. С.** Свето-излучающие диоды и их применение.— М.: Радио и связь, 1988.— 134 с.
5. **Медведев Н.** Система ДУ на ИК лучах// Радио.— 1986.— № 10.— С. 43.
6. **Плотников В.** Интегральные микросхемы для системы ДУ// Радио. 1986, № 6, с. 48—50 и № 7, с. 23—25.
7. **Решетников О.** Устройство защиты на оптронах// Радио.— 1984.— № 12.— С. 47.
8. **Электронные** приборы/ Под ред. Г. Г. Шишкина.— М.: Энергоатомиздат, 1989.— 254 с.
9. **Полупроводниковые** фотоприемники/ Под ред. В. И. Стафеева.— М.: Радио и связь, 1984. — 196 с.
10. **Ельяшкевич С. А.** Цветные телевизоры ЗУСЦТ.— М.: Радио и связь, 1989.— 288 с.
11. **Захаров В.** Телевизоры 4УСЦТ, дистанционная система на ИК лучах// Радио.— 1990.— № 5.— С. 41—46.

Содержание